

Die
Elektricität
in der Atmosphäre

VON

P. Hieronymus Felderer, O. S. B.,
Professor.



Die Elektrizität in der Atmosphäre.



Alle Verkettung der irdischen und der himmlischen Erscheinungen weisen hin auf das Zusammenwirken eines einzigen Willens in dem System treibender Kräfte.
Alex. von Humboldt.

Vor nahezu $1\frac{1}{2}$ Jahrhundert hat man angefangen, sich in wissenschaftlichem Sinne mit der Lufterlektrizität zu beschäftigen. Die Aehnlichkeit der grossartigen Naturerscheinung des Blitzes mit dem Funken der Leydener Flasche liess das Vorhandensein von Elektrizität in der Luft vermuthen. Es handelte sich darum, auf irgend eine Weise die in der Luft befindliche Elektrizität herabzuleiten und zu prüfen.

Franklin war der Erste, der daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausströmen oder Einsaugen der Elektrizität durch Spitzen zu benutzen, um die elektrische Natur der Gewitterwolken unmittelbar nachzuweisen. Er liess einen fliegenden Drachen in eine herannahende Gewitterwolke steigen; sobald die Schnur durch den Regen feucht wurde, zeigten sich am unteren isolirten Ende derselben Spuren von Elektrizität.

Fast gleichzeitig mit Franklin stellten Mazeas und de Romas ähnliche Versuche an. Letzterer liess an die Schnur des Drachens ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten und band an das untere Ende eine seidene Schnur von 8—10 Fuss Länge. Auf einen Leiter mit der Erde verbunden sprangen Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuss Länge über.

Diese auffallenden Erscheinungen feuerten allenthalben zu emsigen Beobachtungen an.

Le Monnier gelang es schon, das Schwanken des elektrischen Zustandes der Luft je nach der Tageszeit nachzuweisen; er erkannte auch, dass die Luft nicht bloss bei Gewittern, sondern auch bei heiterem Himmel elektrisch sei.

Saussure und Volta vervollkommneten die Apparate. Letzterer brachte an eine hohe isolirte Saugspitze sein Strohalm-Elektroskop an und bahnte dadurch den Weg zu einer wirklichen Messung der Lufterlektrizität. Später ersetzte er die bis anhin üblichen Aufsaugespitzen durch brennende Körper, Lunte oder Flamme, und erzielte damit ganz überraschend günstige Resultate.

Spätere Beobachter, wie Lamont, Dellmann, Peltier, Quetelet und Schübler stellten an einem erhöhten Punkte eine isolirte Kugel auf und brachten dieselbe für kurze Zeit mit der Erde in leitende Verbindung; die Lufterlektrizität zieht durch Vertheilung die ihr entgegengesetzte Elektrizität in die Kugel, so dass diese bei Aufhebung der Verbindung mit der Erde geladen bleibt und bei der Einwirkung auf das Elektrometer die der Lufterlektrizität entgegengesetzte Elektrizität zeigt.

Bei den oben genannten Saugapparaten dagegen strömt die ungleichnamige Elektrizität an der Spitze aus und das Elektrometer wird mit derselben Elektrizität geladen, welche in der Luft

vorhanden ist. Mit möglichst genauen Apparaten wurde in neuester Zeit auf diesem Gebiete der Forschung aufs eifrigste gearbeitet; von den verschiedensten Gesichtspunkten aus versuchten die Physiker und Meteorologen die atmosphärische Elektrizität und die elektrischen Luftmeteore zu erklären.

In diesen Zeilen versuchen wir einen allgemeinen Ueberblick über die Resultate dieser Arbeiten zu geben, indem wir die meisten bis anhin veröffentlichten Theorien über die Luft- und Gewitterelektrizität und das Nordlicht, sowie über die mit der Elektrizität in innigem Zusammenhang stehenden Erscheinungen der Atmosphäre zusammenstellen und die bedeutendsten derselben etwas näher ins Auge fassen.

I.

Die Lufterlektrizität.

Um den Werth der verschiedenen Ansichten über die Quelle der Lufterlektrizität besser beurtheilen zu können, schicken wir denselben die allgemeinen Ergebnisse der Forschung voraus.

Nicht nur alle neueren Beobachter, sondern auch fast alle älteren stimmen darin überein, dass bei heiterem, unbewölktem Himmel die Luft positiv elektrisch sei. Die Lufterlektrizität eines Ortes nennt Dellmann auf Grund seiner 20jährigen Beobachtungen eine constante Grösse. Bei plötzlicher Wolkenbildung, bei Gewittern mit Stürmen fand man fast ebenso regelmässig negative Elektrizität.

Im Allgemeinen haben die Beobachtungen ergeben, dass die Stärke der Lufterlektrizität mit der Höhe zunimmt und zwar langsamer über einer Ebene, rascher aber über freistehenden Bodenerhebungen, Häusern, Mauern etc. So fanden Saussure und Schübler, dass die Lufterlektrizität auf isolirten Felskegeln stets viel stärker ist, als auf gleich hohen Orten, die von benachbarten Gegenständen an Höhe übertroffen werden. Nach Exner's Beobachtungen zur Winterszeit auf freiem Felde ist die Zunahme der Elektrizität der Höhenzunahme nahezu proportional. Biot und Gay-Lussac kamen bei ihren diesbezüglichen Versuchen auf einer Luftfahrt zu demselben Resultate.

Ebenso bestimmte Ergebnisse erzielten die Beobachter bezüglich des jährlichen Ganges der Lufterlektrizität. Schon in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts hat Schübler den Nachweis geliefert, dass die normale Elektrizität der Luft im Winter stets viel stärker ist als im Sommer, während Frühling und Herbst Mittelwerthe zeigen. Alle späteren Beobachter stimmen damit völlig überein, so dass Exner mit Recht das Gesetz aufstellen kann: „Die normale atmosphärische Elektrizität hat im Winter ein Maximum und im Sommer ein Minimum.“

Nicht ganz so genaue Uebereinstimmung der Resultate herrscht in Bezug auf die tägliche Veränderung. Während die meisten Forscher 2 Maxima und 2 Minima unterscheiden konnten, wurde von einigen Beobachtern nur 1 Maximum und 1 Minimum wahrgenommen. Die Maxima fallen mit dem Auf- und Untergang der Sonne zusammen, ein starkes Minimum zeigt sich um die Mittagsstunden, ein schwaches während der Nacht. Je nach der Jahreszeit ist sogar eine Verschiebung der Maxima beobachtet worden, so dass bei früherem Aufgange und späterem Untergange der Sonne das Morgen-Maximum früher und das Abend-Maximum später eintritt. Demnach entsprechen die Maxima genau den Stunden des Temperaturwechsels und die Minima denen der constanten Temperatur, oder wie Exner sich ausdrückt: „Die Lufterlektrizität befolgt im Allgemeinen den umgekehrten Gang der Temperatur.“

Der normale Stand der Elektrizität in der Luft wird durch atmosphärische Einflüsse bedeutend verändert. Bei kaltem, trockenem Nord-Ost-Wind, sowie bei trockenem Nebel, nimmt die

Elektricität zu und bei feuchtem, warmen Süd-West-Wind ab. Der Polarstrom bedingt häufiger positive Spannung, der Aequatorialstrom negative; stark negativ ist der Föhn. Besonders grossen Einfluss übt der Wind, welcher Staub von der Erdoberfläche mit sich führt; nicht selten ist in diesem Falle auch bei heiterem Himmel die Luft negativ elektrisch. Palmieri fand am Vesuv einen innigen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der negativen Elektricität und dem Vorhandensein von Staub und Asche des Vulkans in der Luft. Wasserdämpfe, sowohl in Gasform als auch in Wolken condensirt, schwächen die positive Luftelektricität. In dem Masse, in welchem die Wasserdampfbildung bei steigender Temperatur wächst, nimmt die normale positive Elektricität der Luft ab und geht eventuell in negative über.

Die Ansichten über die Ursache der genannten elektrischen Erscheinungen sind sehr verschieden.

Von der Thatsache der Elektricitätserzeugung durch Reibung ausgehend nahm Nollet die Reibung der Wolken an der Luft als Quelle der Luftelektricität an. Nebst der Reibung von Wolken und Luft lässt Florimond dabei die Verdunstung eine bedeutende Rolle spielen. Nach Liebenow (1884) ist die Luftelektricität eine Folge der fortwährenden Reibung des atmosphärischen Wasserdampfes an dem feuchten Erdboden, an der Oberfläche des Meeres und besonders an den Regentropfen, während Spring (1882) der Meinung war, dass bei der Bildung von trockenem Hagel durch die Reibung desselben an der Luft Elektricität erzeugt werde, und dass der Regen bei Gewittern in höheren Regionen als Hagel bestanden habe.

Dass durch Reibung der Wasserdämpfe an der Luft, an der Erde und an den festen an ihr emporgelagerten Gegenständen, an Gras, Bäumen etc. Elektricität entstehe, glaubt Hoppe¹⁾ (1884) durch wiederholte Versuche nachgewiesen zu haben. Für die Versuche war in den Recipienten einer guten Luftpumpe eine Conductorplatte eingeführt, welche mit einem sehr empfindlichen Elektrometer in Verbindung stand. Zuerst wurden aus dem Wassergefässe, das ebenfalls unter den Recipienten gebracht war, durch Luftverdünnung Dämpfe entwickelt, so dass sie langsam aufsteigend die Conductorplatte ohne grosse Reibung berührten. Es zeigten sich dabei keine messbaren Spuren von Elektricität. Nach diesen Versuchen wurde ein grosser Schwamm in das Wassergefäss gelegt und die Luft wieder verdünnt. Jetzt mussten sich die aufsteigenden Dämpfe an dem Schwamme reiben; das Elektrometer zeigte deutliche Ablenkungen, die um so grösser wurden, je trockener der obere Theil des Schwammes war, je mehr also der Dampf genöthigt war, sich an den festen Theilen des Schwammes zu reiben. Als Hoppe nachher zu einem Controlversuche ganz trockene Luft in den stark verdünnten Recipienten einströmen liess, zeigte das Elektrometer trotz der bedeutenden Reibung keinen Ausschlag. Auf diese Versuche hin behauptet Hoppe, dass die Luftelektricität bei heiterem Himmel nach der Verdampfung des Wassers an der Erdoberfläche dadurch entsteht, dass die aufsteigenden Dämpfe an festen Körpern und an der Luft sich reiben.

Die fast gleichzeitig von Luvini und Sohneke (1885) aufgestellte Theorie stützt sich auf die durch Faraday entdeckte Thatsache, dass durch Reibung von wasserhaltiger Luft an Eis, erstere negativ, letzteres positiv elektrisch wird. Eine solche Reibung soll nun in den oberen Luftschichten stattfinden, und zwar dort, wo die Grenze der positiven und negativen Temperatur ist. Die positiv elektrischen Eiskryställchen sollen in den höheren Schichten der Atmosphäre schweben bleiben, während die wasserhaltige Luft sich senkt und ihre negative Elektricität allmählig in die Erde abgibt.

Tait (1884) sucht die Quelle der Luftelektricität in dem Contact der Dampftheilchen mit den Molekülen der Luft und lässt das geringe dadurch entstehende, elektrische Potential durch Vereinigung der Tropfen sich steigern.

¹⁾ Elektrotech. Rundschau. Juli-Heft 1885.

Auch Suchsland (1886) geht bei seiner Arbeit von der Berührungselektricität aus. Nach ihm bilden die Sauerstoff- und Stickstofftheilchen der Luft kleine Voltaelemente, deren Leiter der dazwischen schwebende Wasserdampf ist. Er betrachtet die ganze Atmosphäre als ein grosses Volta'sches Conglomerat,¹⁾ in dessen Innerem die Erde als leitender Körper liegt. Wegen der Grösse der Erde sind die unteren Schichten der Atmosphäre als abgeleitet anzusehen. Daher tritt nur ein Pol auf und zwar bei ruhigem Wetter der positive, weil die Atome, wenn nur die Schwerkraft auf sie einwirkt, sich nach ihrem specifischen Gewichte lagern. Wäre die ganze Atmosphäre eine homogene, ruhige Masse, so würde die Lufterlektricität immer constant sein. Wegen ihres local und temporär ab- und zunehmenden Gehaltes an Feuchtigkeit schwankt aber die Stärke der Elektricität, mit wachsender Feuchtigkeit nimmt auch sie zu und erhält somit einen localen Charakter.

Die erwähnten Theorien stehen ausnahmslos in Widerspruch mit der Thatsache, dass die Lufterlektricität um so stärker auftritt, je normaler, klarer und kälter die Witterung ist.

Wird ein Turmalinkrystall erwärmt, so zeigt er an dem einen Ende seiner Hauptaxe positive, an dem anderen negative Elektricität. Wenn darauf der Turmalin erkaltet, so verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität; dann kehrt die Polarität um, so dass die Stelle, welche beim Erwärmen positiv elektrisch war, beim Abkühlen negativ und das entgegengesetzte Ende positiv elektrisch wird. Wilcke (1758) und Canton (1772) schreiben der Luft ein dem Turmalin analoges Verhalten zur Elektricität zu und betrachten die Temperaturdifferenzen der Tages- und Jahreszeiten als Ursache der Lufterlektricität.

Auch A. Becquerel (1829) und Mühry (1873) sehen die ungleiche Vertheilung der Wärme als Quelle der Lufterlektricität an.

Diese auf der Pyroelektricität beruhenden Ansichten lassen sich mit der Thatsache nicht vereinigen, dass die Elektricität der Luft im Winter viel stärker ist als im Sommer, während von den Temperaturdifferenzen das Gegentheil gilt.

Die Erscheinung, dass die Verdampfung von Wasser, welches man auf glühende Kohlen schüttet, mit Elektricitätsentwicklung begleitet ist, führte Volta (1787) zur Annahme, dass Verdunstung die Ursache der atmosphärischen Elektricität sei. Diese Ansicht wurde mit grossem Beifall aufgenommen und erhielt sich bis in die neueste Zeit. Grothus goss Wasser auf glühende Metalle und fand den entwickelten Dampf elektrisch. Saussure wiederholte die Versuche und es ergab sich, dass der Dampf stets positiv und das zurückbleibende Wasser negativ elektrisch war. *Fait*, *Wanklyn* und *Lufström* erhielten dieselben Resultate.

Auch die Verdunstung kann nicht als Ursache der Lufterlektricität angesehen werden, weil letztere um so stärker ist, je geringer der Gehalt der Atmosphäre an Wasserdampf ist. Zudem haben *Ermann*, *Reich* und *Riess* bewiesen, dass eine Elektricitätsentwicklung immer nur dann auftritt, wenn Theile des verdampfenden Wassers oder darin gelöster Salze sich an den Gefässwänden reiben, niemals aber, wenn keine Reibung stattfindet.

In jüngster Zeit trat *L. Palmieri* mit einem neuen experimentellen Beweis für die von ihm schon lange verfochtene Ansicht auf, dass die atmosphärische Elektricität durch Condensation der Wasserdämpfe entstehe. Doch wurde ihm alsbald von mehreren Seiten widersprochen, und *Magrini*²⁾ widerlegte *Palmieri*'s Ansicht mit beinahe derselben Versuchsanordnung: Eine vorzüglich gut isolirte Platinschale wurde mit einem sehr empfindlichen Quadrantenelektrometer verbunden. Mit einem Glas- oder Porzellanlöffel wurden Stückchen frisch zerschlagenen Eises in die Platinschale gebracht. Das Elektrometer zeigte sogleich einen Ausschlag, welcher beiläufig eine Minute lang zunahm, dann aber constant blieb. In Folge der Abkühlung der nächstanliegenden Luft wurde Wasserdampf condensirt, welcher auf der Aussenseite der Platinschale einen Beschlag bildete.

¹⁾ Vergl. Pag. 14.

²⁾ Naturwissenschaftliche Rundschau II. 1887.

Da der Ausschlag des Elektrometers constant blieb, der Beschlag jedoch immer noch zunahm, so konnte die Condensation nicht wohl Ursache der angezeigten Elektrizität sein. Ganz klar wurde dieses, als Magrini den Versuch dahin abänderte, dass er das frisch geschlagene Eis zuerst in ein Gefäss legte, welches leitend mit der Erde verbunden war. Als er es nun mit dem Glaslöffel, jede Reibung sorgfältigst vermeidend, wieder in das Platingefäss übertrug, zeigte das Elektrometer keinen Ausschlag. Damit war auch die Quelle der Elektrizität, welche früher den Ausschlag bewirkt hatte, genügend angedeutet. Das Eis war nämlich beim Zerschlagen durch Reibung elektrisch geworden. Diese Versuche wurden unter verschiedenen Abänderungen vielfach wiederholt und bestätigten die Behauptung, dass bei der Condensation der Wasserdämpfe keine wahrnehmbare Elektrizität aufträte.

Uebrigens steht diese Ansicht ebenfalls im Widerspruch mit dem jährlichen und täglichen Gang der Lufterlektrizität. Das Maximum der Elektrizität fällt immer mit dem Minimum der Temperatur, der Verdunstung und des Wasserdampfgehaltes der Luft zusammen.

Eine von den genannten Theorien ganz abweichende Ansicht hat zuerst E r m a n ausgesprochen. Durch sorgfältige Beobachtungen stellte er die Thatsache fest, dass man aus der Luft ganz beliebig positive und negative Elektrizität zum Elektroskop leiten kann, je nachdem man den Apparat hebt oder senkt. Hat man ihn in tiefer Lage zuerst abgeleitet und erhebt ihn dann plötzlich isolirt, so zeigt das Elektroskop bei normalem Wetter positive Elektrizität an; umgekehrt erhält man negative, wenn der Apparat in erhobener Stellung abgeleitet und dann isolirt plötzlich gesenkt wird. Erman schloss aus diesen Versuchen, dass nicht die Luft, sondern die Erde elektrisch sei, und dass alle bisherigen Beobachtungen auf Induction der Erdelektrizität beruhen.

Diese Ansicht wurde 1842 von Peltier zu einer Theorie entwickelt, indem er die scheinbare Vertheilung der Elektrizität in der Luft durch Induction von Seiten der Erde erklärte und durch Beobachtungen bestätigte. Duprez, Romershausen und Lamont schlossen sich derselben an.

Nach Lamont¹⁾ besitzt die Erde negative Elektrizität, deren Menge sich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich ist. Diese Elektrizität nennt er die permanente Elektrizität der Erde zum Unterschied der inducirten, die in jedem isolirten Körper, er mag permanent elektrisch sein oder nicht, durch einen in die Nähe gebrachten Gegenstand hervorgerufen wird. Die reine Luft hat gar keine Elektrizität, sie ist unfähig Elektrizität zu leiten oder zu behalten. Da vorzugsweise an Spitzen und Kanten die Elektrizität sich ansammelt, so muss sie sich auf Thürmen, Bergspitzen und anderen erhöhten Punkten in grösserer Menge anhäufen, so dass die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sich über den Boden erhebt. Auch der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf bewirkt eine ungleiche Vertheilung der Elektrizität. Ist die Dunstmasse mit der Erde in Berührung, so tritt dieselbe Erscheinung ein, wie auf einem Berge: Die Elektrizität strömt auf die Oberfläche der Masse. Wenn aber die Dunstmasse isolirt ist, so wird ihre latente Elektrizität durch die Erdelektrizität vertheilt. Durch diese Annahme finden alle Ladungserscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leichte Erklärung, wie durch die Annahme, dass die Luft elektrisch sei. Auf ein mit einer Spitze versehenes isolirtes Elektrometer wirkt die negative Elektrizität in der Weise vertheilend, dass die positive angezogen wird und die negative an der Spitze ausströmt; das Instrument zeigt positive Elektrizität an. Wird eine Kugel mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht, so muss sie negativ elektrisch sein.

In neuester Zeit hat diese Peltier-Lamont'sche Theorie an Professor E x n e r²⁾ einen mächtigen Vertheidiger gefunden. Nach zahlreichen Messungen, welche einige Jahre hindurch an verschiedenen Orten und in verschiedenen Höhen ausgeführt wurden, kam er zum Resultate, dass von

¹⁾ J. Müller Dr. Lehrb. d. Kosm. Physik 1861.

²⁾ Sitzungsbericht der Mathematisch-Naturwissenschaftl. Classe. Jahrg. 1886 Wien.

allen bisherigen Theorien nur die von Peltier mit den Thatsachen nicht in Widerspruch stehe und dass sie alle bekannten Erscheinungen erkläre. Im Wesentlichen geht Exner's Ansicht dahin, dass die Erde eine ursprüngliche, und zwar negative Ladung besitze, dass diese Ladung durch den Wasserdampf theilweise in der Luft verbreitet und durch die Niederschläge der Erdoberfläche wieder zugeführt werde.

Dass Wasserdämpfe auch im luftförmigen Zustande Elektrizität von der Erde mit sich emportragen können, haben Buff und De la Rive angenommen und Mascart und Exner bewiesen. Mascart machte nämlich die Beobachtung, dass eine elektrische Wasseroberfläche schneller verdampft, als eine nicht elektrische unter gleichen Umständen. Steigen von einer elektrisirten Flüssigkeit Moleküle auf, die unelektrisch sind, so wirkt die Oberfläche anziehend auf dieselben, es steigen folglich weniger Moleküle: Die Geschwindigkeit der Verdampfung muss abnehmen. Führen aber die Moleküle Elektrizität mit sich, so werden sie von der gleichnamig elektrischen Flüssigkeit abgestossen: Die Geschwindigkeit der Verdampfung nimmt zu. Bei den Versuchen verdampfte jedesmal mehr Wasser, wenn es elektrisirt war, als wenn es im unelektrischen Zustande sich befand, und zwar nahm die Verdampfung mit der Dichte der Elektrizität zu. Mit möglichster Sorgfalt wiederholte Exner die Versuche Mascart's auf verschiedene Arten und konnte bestätigen, dass die Verdampfung im elektrischen Zustande ausnahmslos bedeutend stärker war als im gewöhnlichen.

Der fast allgemeinen Ansicht der Physiker, dass Regen und Hagel negativ elektrisch sind, stimmt auch Exner bei, und er ist der Ansicht, dass die Niederschläge der Erde die negative Elektrizität wieder zurückgeben, die ihr durch die aufsteigenden Dämpfe entzogen wurde.

Durch Exner ist die Peltier-Lamont'sche Theorie zwar wieder stark in den Vordergrund gerückt worden, doch ist sie nach Weber nicht überzeugend genug, um ihr die Ueberlegenheit über jede andere zu verschaffen, und Dr. Linss¹⁾ findet sie theilweise im Widerspruch mit seinen Beobachtungen.

Namentlich weist Linss die Annahme zurück, dass die von der Erdoberfläche in die Luft übergegangene Elektrizität vorzugsweise oder gar ausschliesslich an dem Wasserdampf, d. h. an einem Bestandtheile des Gasgemenges, welches die Luft bildet, hafte und dass durch die Niederschläge der Erde ihre ganze Elektrizitätsmenge wieder zurückgeführt werde.

Linss ist der Ansicht, dass die der Erde entströmende Elektrizität, sofern sie überhaupt noch als solche in der Atmosphäre existirt, im Verhältniss der Anzahl der Luft- und Wasserdampfmoleküle auf diese sich vertheilt. Verdunstet ein frei schwebender elektrischer Tropfen vollständig, so muss seine Elektrizität ganz in die Luft übergehen. Man kann sich davon leicht durch Erzeugung einer Wolke kleiner Wassertröpfchen mittelst eines Zerstäubungsapparates überzeugen. Wird ein solcher Apparat isolirt und das Wasser elektrisirt, so zeigt ein Elektrometer starke Ausschläge, sobald es nach stattgehabter Zerstäubung einer geringen Wassermenge mit einem Flammencollector in Verbindung gebracht wird. Diese Ausschläge können, da sie im geschlossenen Zimmer ziemlich lange nach der Wasserzerstäubung noch beträchtlich sind, nur von einer Elektrisirung der Zimmerluft herrühren. Findet sonach in irgend einer Luftschicht, durch welche elektrische Regentropfen hindurchfallen, eine starke Verdunstung statt, so wird dadurch eine Elektrisirung der Schicht bedingt.

Die Zahl der Luftmoleküle ist aber sehr gross im Vergleich zu derjenigen der Wasserdampfmoleküle. Noch viel grösser ist das Verhältniss der Gesamtzahl aller Moleküle der Atmosphäre zur Zahl der in einem kurzen Zeitabschnitt durchschnittlich in Form von Niederschlägen zur Erde fallenden Wasserdampfmoleküle.

Durch Rechnung fand Linss, dass für eine Höhe von 8000 Meter das Verhältniss der Zahl der Luft- und Wassermoleküle zu der Zahl der Niederschlagsmoleküle in 100 Minuten = 22940 : 1 ist.

¹⁾ Meteorolog. Zeitschrift. Oktober 1887 Berlin.

In demselben Verhältnisse wird die Gesamtmenge der in der Atmosphäre enthaltenen Elektrizität zu der in 100 Minuten mit dem Niederschlag auf die Erdoberfläche zurückgeführten Elektrizitätsmenge stehen.

Die jeweilige Ladung des Erdbodens beträgt nach Exner's Berechnungen 16 elektrostatische Einheiten per Quadratmeter. Folglich müsste die Menge der in einer Luftsäule von 8000 Meter Höhe und 1 Quadratmeter Querschnitt befindlichen Elektrizität 22940×16 elektrostatische Einheiten oder, bei gleichförmiger Vertheilung, im Kubikmeter 46 elektrostatische Einheiten betragen, wenn durch die Elektrizität der Niederschläge der Verlust der Bodenelektrizität stets vollständig ersetzt werden soll. Eine Ladung von 46 elektrostatischen Einheiten im Kubikmeter würde aber im Mittelpunkt einer Kugel von 1 Kubikmeter Inhalt ein Potential von 222 Volt erzeugen, d. i. ein Potential, welches mit Leichtigkeit in einem abgeschlossenen Luftraume von 1 Kubikmeter Inhalt an nur halbwegs empfindlichen Apparaten nachgewiesen werden könnte. In Wirklichkeit ist aber dieses Potential so klein, dass es bis jetzt nicht mit Sicherheit hat gemessen werden können.

Zudem ist nach Linss noch nicht mit Sicherheit festgestellt, dass Regen und Hagel ausnahmslos negativ elektrisch sind, weil nicht die Elektrizität der Niederschlagstheilchen selbst, sondern jene der Luft bei Regen- und Hagelfall untersucht worden ist. Der Schluss der Elektrizität der Luft auf die Niederschläge ist aber ganz unsicher. Denn bei der Beobachtung der Luftelektrizität wirken alle im Raume vorhandenen elektrischen Massen auf die Instrumente, und hierbei kann sehr wohl die Wirkung der nächstgelegenen durch die Wirkung ferner, namentlich höher gelegener Massen verdeckt werden, so dass aus der von vielen Beobachtern bestätigten Thatsache, dass im Gebiete eines ausgedehnten Regenfalles die negative und im Gebiete eines ausgedehnten Schneefalles die positive Elektrizität vorherrscht, sich mit keinerlei Sicherheit schliessen lässt: die Regentropfen sind negativ, die Schneeflocken positiv elektrisch; es kann eben sowohl das Gegentheil stattfinden. Folglich sind alle Theorien als hypothetisch anzusehen, welche sich auf die Annahme stützen, dass der Erde die zerstreute negative Elektrizität durch den Regen wieder zugeführt werde.

Planté (1883) glaubt, dass die Erde von ihrem Bildungsprocesse her ein bedeutendes Quantum Elektrizität besitze. Wie die Erde von ihrer Eigenwärme beständig, aber sehr langsam, an den Raum Wärme ausstrahlt, so gibt sie auch fortwährend Elektrizität ab, welche sich in den oberen gut leitenden Luftschichten sammelt und allmähig in den Weltraum zerstreut. Aufsteigender Dunst befördert die elektrische Zerstreuung der Erde. Daher sind die Wolken, namentlich in den Tropen, stark elektrisch und die Polargegenden arm an Elektrizität. Erde und Wolken sind gleichnamig elektrisch. Letztere sammeln auf ihren Wanderungen viel Elektrizität an und erhalten mit der Zeit eine grössere Spannung als die Erde. Durch Influenz machen sie den schwach positiv elektrischen Erdkörper negativ elektrisch.

Die in dieser Theorie angenommene langsame Abgabe der Elektrizität widerspricht den sonstigen Erfahrungen. Da nämlich nach Planté die Erde nur eine Art Elektrizität im Ueberschuss erhalten, so würde sich diese mit grosser Spannung an der Oberfläche ausgebreitet haben und müsste sich dann mit ziemlicher Geschwindigkeit bis auf ein Minimum zerstreuen. Zudem lässt sich die Constanz der Bodenelektrizität so viele Jahre hindurch wohl kaum erklären.

Selbst ausserhalb der Erde hat man den Sitz der Luftelektrizität gesucht.

Priestley behauptete, dass der Weltraum negativ elektrisch sei.

J. Becquerel (1872) verlegt den Herd der Luftelektrizität in die Sonne. Die grossen Ausbrüche von Wasserstoff auf derselben sollen seiner Meinung nach positive Elektrizität mit sich führen, und diese durch den Weltraum bis zu uns geleitet werden, wesshalb man auch eine Zunahme derselben mit der Höhe beobachtet.

W. Siemens (1883) hält für die erste Ursache der Luftelektrizität den elektrischen Zustand der Sonne. Aus dem Weltraume strömt fortwährend nach den Sonnen-Polen Materie, welche durch

Licht- und Wärmestrahlen dissociirt ist. Dieselbe verdichtet sich wieder und verbrennt. Die Verbrennungsprodukte strömen von den Polen nach dem Aequator, erleiden dabei eine beträchtliche Reibung und werden negativ elektrisch. Durch die Centrifugalkraft werden die Verbrennungsprodukte in den Weltraum geschleudert und mit ihnen wird die negative Elektrizität von der Sonne entfernt. Auf der Sonne selbst bleibt positive Elektrizität zurück und nun wirkt die Sonne mit der Erde und dem dazwischenliegenden nicht leitenden Raume wie ein grosser elektrischer Ansammlungsapparat.

Eine Influenzwirkung auf Millionen von Meilen setzt eine starke Elektrizitätsentwicklung voraus! Nimmt man an, dass die verschiedenen Himmelskörper unseres Sonnensystems elektrische Ladungen besitzen, die ihren Massen direct proportional sind, so ist nach Exner's Berechnung die Intensität des elektrischen Feldes der Sonne in der Entfernung der Erde so gering, dass sie für unsere Messapparate vollkommen verschwindet.

Von ganz neuem Gesichtspunkte aus hat Edlund ¹⁾ (1878) den fraglichen Gegenstand betrachtet: Er suchte in der von Faraday entdeckten unipolaren Induction die Quelle der atmosphärischen Elektrizität. Lässt man einen Magnet mit einer leitenden Umhüllung rotiren und verbindet man dabei z. B. einen Punkt der Umhüllung, welcher einem der Magnetpole nahe liegt, durch einen Leiter mit einem anderen Punkte der Umhüllung, welcher sich in der Nähe der Mitte zwischen den beiden Polen befindet, so entsteht während der Rotation ein elektrischer Strom, der zwischen der Polarzone und der Indifferenzzone kursirt, und dessen Richtung und Intensität von der Richtung und Geschwindigkeit der Rotation abhängt. Wendet man dies auf die Erde an, die ja als ein rotirender Magnet mit einer gut leitenden Umhüllung, der Erdkruste, anzusehen ist, so übernimmt die in ihren unteren Schichten im Allgemeinen schlecht, in ihren oberen Schichten dagegen ziemlich gut leitende Atmosphäre die Rolle einer den Kreis schliessenden Verbindung zwischen der Aequatorialzone und den beiden Polarzonen. ²⁾

Der Strom nimmt nun folgenden Verlauf: Am Aequator, wo die grösste Rotationsgeschwindigkeit herrscht, erfolgt eine besonders starke aufsteigende Bewegung positiver Elektrizität. Vom Aequator gegen die Pole hin findet nach Theorie und Experiment an allen Zwischenzonen gleichfalls ein Aufsteigen positiver Elektrizität statt; dasselbe wird aber wegen der Abnahme der Rotationsgeschwindigkeit mit zunehmender geographischer Breite schwächer und hört in der Nähe der Pole ganz auf. Diese in die Höhe getriebenen Mengen positiver Elektrizität beherrscht eine Tendenz, nach den Polen abzufließen, und diese Tendenz wird ungefähr in der Mitte zwischen dem Aequator und den Polen am stärksten, während sie über dem Aequator selbst und in der Nähe der Pole verschwindend klein ist.

Durch das unablässige Aufströmen positiver Elektrizität in die höheren Luftschichten und durch das Abfließen polwärts in immer engere Zonen erhalten diese oberen Schichten grosse Mengen positive Elektrizität, welche auf die Erde influenzirend wirken, so dass diese gegen die Atmosphäre negativ elektrisch erscheint.

Auch diese Theorie ist nicht unangefochten geblieben, hauptsächlich weil sie eine Leitungsfähigkeit der Luft zulässt. Nach Exner kann selbst an der feuchten Luft eine Leitungsfähigkeit experimentell nicht nachgewiesen werden. Wenn man so oft von der guten Leitung der feuchten Luft sprechen hört, so hat das seinen Grund wohl in dem Umstande, dass in feuchter Luft die festen Isolatoren, z. B. Glas, sehr bald ihr Isolationsvermögen verlieren, da sich flüssiges

¹⁾ Förster. Verhandlung der Gesellschaft für Erdkunde. VI. 1. Berlin. 1879.

²⁾ Der Erdmagnetismus wird durch elektrische Ströme der Erde erzeugt, welche entstehen: nach Zöllner durch die Reibung des feurig flüssigen, innern Erdmeeres an der Innenfläche der Erdrinde, nach Wettstein durch Temperaturdifferenzen in Folge der dislocirenden Wirkung der Sonnengravitation (Verdichtung an der Stirnseite und Verdünnung an der Rückseite), nach Owen durch ungleiche Vertheilung der Wärme in der Erde.

Wasser auf ihnen condensirt. Dass feuchte, beziehungsweise Wolkenluft gut isolirt, ist nach Luvini unter den älteren Physikern von Bellani, Beccaria und Peltier angenommen, neuerdings aber von Marangoni, Agostini, Gaugain, Melsens und Thomson nachgewiesen worden. Linss hält diese Annahme für experimentell sicher gestellt und schliesst sich der Ansicht Luvini's an, dass alle Theorien über die Elektrizität der Luft und der Wolken, welche sich auf die elektrische Leitungsfähigkeit der feuchten oder auch der mit Nebeltröpfchen gefüllten Luft stützen, zu verwerfen sind.

Damit ist jedoch Edlund's Theorie nicht widerlegt. Gerade dadurch, dass die unteren Luftschichten nicht leitend sind, ist für die oberen besser leitenden Partien die Möglichkeit der unipolaren Induction gegeben. Das Aufsteigen der positiven Elektrizität erfolgt nicht durch Reibung sondern durch Strömung. Bei der Untersuchung der Grösse des Zerstreuungscoefficienten an einem in freier Luft aufgestellten elektrischen Metallcylinder kam Linss zum Resultate, dass der jährliche Gang der Elektrizitätszerstreuung demjenigen des Luftpotentials genau entgegengesetzt ist, und dass der Verlust der Bodenelektrizität durch Zerstreuung in einer Minute mindestens 1% beträgt, d. h. es muss, wenn die Bodenelektrizität constant sein soll, in je 100 Minuten der Erdoberfläche so viel Elektrizität zufließen, als die jeweilige Gesamtladung beträgt.

Wird diese zerstreute Elektrizität nicht in eine andere Kraftform umgewandelt, so muss sie von der Luft aufgenommen und namentlich in der Aequatorialzone mit dem steigenden Luftstrom in die hohen, dünnen, gut leitenden Schichten der Atmosphäre geführt werden, von wo aus auf die oben angegebene Weise das Abfließen gegen die Pole hin stattfindet.

Zu dem Resultate, dass in den höheren Luftschichten eine continuirliche Strömung positiver Elektrizität stattfindet, gelangte auch Andries,¹⁾ wiewohl auf ganz anderem Wege.

Es ist experimentell nachweisbar, dass die Sonnenstrahlen im Eise Elektrizität erregen und dass die Luft bei Bestrahlung besser leitend wirkt.

Aus diesen Thatsachen zieht Andries folgenden Schluss: „Durch die Sonnenstrahlen werden in den Eisnadelschichten der Atmosphäre elektrische Ströme erzeugt. Die elektrisirten Eisnadeln werden infolge des stets von innen nach aussen wirkenden elektrostatischen Druckes nach der Grenze der Atmosphäre getrieben und dort schwebend erhalten.“ Sobald die Sonne den Meridian eines Ortes überschritten hat, sobald also an einem Orte die grösste Beleuchtungsintensität eingetreten ist, so erfolgt in den oberen Schichten der Atmosphäre die stärkste Elektrizitätsentwicklung und zugleich die grösste Leitungsfähigkeit der Luft. Von diesem Orte der grössten Beleuchtung strömt die Elektrizität infolge des erleichterten Abflusses auf allen Seiten nach der Beleuchtungsgrenze hin, so dass dort die Dichte der Elektrizität zunimmt. Da die Beleuchtungsverhältnisse der Erde nur in Bezug auf die Ekliptik und deren Pole symmetrisch sind, so müssen die Stromlinien, besonders innerhalb der heissen Zone parallel mit der Ebene der Ekliptik verlaufen und zwar um so mehr, als die mit dem magnetischen Aequator, dessen Neigungswinkel zur Ekliptik sehr klein ist, parallel laufenden Erdströme die atmosphärischen Ströme mit sich parallel zu richten suchen. Diese grössere elektrische Dichte fällt nicht genau mit der Beleuchtungsgrenze zusammen, weil der Strom nach Westen langsamer als nach Osten fliesst. Der Jahreszeit entsprechend entsteht daher die grösste Dichte auf der Tagseite von 8 bis 10 Uhr Morgens und auf der Nachtseite von 8 bis 10 Uhr Abends. Infolge des Abfließens nach Westen und Osten von der grössten Beleuchtungsstelle aus herrscht an dieser Stelle selbst, sowie am mitternächtlichen Meridian die geringste Dichte; weil aber der Abfluss nach Westen langsamer erfolgt als nach Osten, so fallen diese Stellen nicht genau mit dem Orte grösster Beleuchtung zusammen, sondern werden 1 bis 2 Stunden gegen Osten gerückt. Wegen der durch die Strahlung bewirkten grösseren Leitungsfähigkeit der Luft auf der Tagseite kann kein stationärer elektrischer Zustand bestehen bleiben, indem das elektrische Gleich-

¹⁾ Naturforscher, XXI. Jahrg. 15. April 1888.

gewicht stets gestört wird; es muss sich also eine Elektrizitätsströmung entwickeln mit je 2 Stellen grösserer und kleinerer Stromstärke. Dadurch erklärt sich in einfacher Weise der doppelperiodische tägliche Gang der Lufterlektricität. Aus der Verschiebung der Beleuchtungsgrenze in der Nord-Südrichtung je nach der Jahreszeit kann ebenso einfach die jährliche Periode abgeleitet werden.

Das Problem über den Ursprung der Lufterlektricität ist zwar noch nicht bestimmt gelöst, doch stehen die Theorien von Edlund und Andries mit den bekannten Thatsachen wenigstens nicht in Widerspruch. Inwiefern sich nach ihnen die elektrischen Meteore erklären lassen, werden wir in der Folge sehen.



II. Das Gewitter.

Das Gewitter ist eine mit Blitz und Donner verbundene starke Wolkenbildung und Entleerung derselben durch reichlichen Regen und manchmal auch durch Hagel.

Von dieser allgemein bekannten Erscheinung muss einleitend nur der verschiedenen Arten des Blitzes gedacht werden. Man unterscheidet Linienblitze, Flächenblitze und Kugelblitze. Die Linienblitze sind scharf begrenzte, meist zickzackförmige, weisse oder weiss-violette, oft mehrere Meilen lange Lichtstrahlen, welche bald in einer Wolke, bald zwischen verschiedenen Wolken, bald zwischen einer Wolke und der Erde, bald zwischen einer Wolke und den höheren Luftschichten und manchmal sogar bei wolkenlosem Himmel zwischen den höheren Luftschichten und der Erde momentan sich zeigen.

Der Flächenblitz ist ein unbestimmt begrenzter, röthlicher, fast gleichmässiger Lichtschimmer, welcher plötzlich die Wolken durchzuckt, grosse Flächen derselben erleuchtet und ihre Umrisse für einen Moment sichtbar macht.

Die Kugelblitze sind blaue, rothe oder gelbe, entweder senkrecht von der Wolke herab oder in verschiedenen Richtungen guter Leiter entlang sich langsam fortbewegende Feuerkugeln, die bald nach ihrem Erscheinen theils spurlos verschwinden, theils aber unter lautem Knall zerplatzen und arge Verwüstungen anrichten.

Es würde uns zu weit führen, wenn wir die verschiedenen Ansichten über die Entstehung dieser Erscheinungen auch nur der Hauptsache nach erwähnen wollten. Wir übergehen desshalb alle jene Theorien, welche die Elektrizität der Wolken aus der Lufterlektricität herleiten und im Vorhergehenden bereits als ungenügend oder den Thatsachen widersprechend angeführt worden sind. Wir beschränken uns auf eine gedrängte Darstellung einiger Theorien, nach welchen der Herd der Elektrizität in der Wolke selbst liegt.

Zur Erklärung der Gewitterelektricität ist nach Andries¹⁾ nur nöthig, die Ursache der Verstärkung geringer Spannungen anzugeben. Geringe Spannungen sind stets vorhanden. Sie entstehen sowohl durch Berührung des Wassers mit der Luft, als auch durch Reibung der Wassertropfen und Hagelkörner an der Luft. Die Verstärkung geschieht wesentlich durch das Zusammenfliessen der vielen Wassertropfchen, welche von Wirbelbewegungen begünstigt besonders zahlreich condensiren.

Ohne Beziehung der Reibung und des Zusammenfliessens der Tropfen leitet Suchsland²⁾ die Entstehung der Gewitterelektricität und die Bildung des Hagels einzig aus dem Contact der

¹⁾ Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. XII. Jahrg. 1884.

²⁾ Dr. E. Suchsland, gemeinschaftliche Ursache der elektrischen Meteore und des Hagels. Halle. 1886.

Luftmoleküle mit dazwischenliegenden Wassertheilchen ab. Er stützt sich dabei auf die von Grove und W. Beetz erwiesene Thatsache, dass sich die Gase mit den Metallen in eine Spannungsreihe ordnen lassen; dass also heterogene Gase elektromotorisch auf einander wirken, und dass dabei die Träger der positiven und negativen Elektrizität nicht nach den entsprechenden Polen hinfließen, sondern sich alternirend lagern.

In Zündhütchen ohne Füllung bringe man Schrotkörner und klopfe sie zusammen, dann hat man ein Volta'sches Element. Werden zwischen eine grössere Anzahl derselben Kügelchen aus angefeuchtetem Seidenpapier gemischt, und bindet man alles zusammen in einem Schleier zur Form einer Kugel, so zeigt es sich, dass ein solches Volta'sches Conglomerat zwei Pole hat, bei deren Berührung das Galvanometer eine starke Ablenkung erfährt.

Dieses Conglomerat lässt ersehen, dass die Volta'sche Summation sich nicht nur linear, sondern auch gleichsam körperlich und bei scheinbarer Regellosigkeit vollzieht.

Dieser Umstand und die geringe Ausdehnung der Elemente dienen Suchsland als Schlüssel bei der Forschung nach dem Ursprung der elektrischen Meteore, da deren Erscheinen an das Vorkommen der kleinsten und beweglichsten Körper im umfangreichsten Aufbau gebunden ist.

Die Hauptbestandtheile der Luft sind Stickstoff und Sauerstoff. In der Wolke sind die einzelnen Luftmoleküle zwischen die Wasserkügelchen gelagert und verhindern die plötzliche Vereinigung der letzteren. Die ganze Wolke ist als ein grosses Volta'sches Conglomerat absoluter Gaselemente anzusehen, in welchem vor dem Ausbruch des Gewitters die Gasmoleküle beliebige Lagerung zu einander haben. So lange nur geringe elektrische Spannungen vorkommen, tritt keine weitere Folge ein. Erreicht aber die Spannung eine gewisse Intensität, so werden die Elektrizitätscentra activ, indem sich die benachbarten Luftatome nach ihrer Polarität ordnen. Geordnet verstärken die Gaselemente das active Elektrizitätscentrum, und dieses wird zu einem Gewitterherd, von dem aus die ganze Wolke mit wachsender Geschwindigkeit in ein actives Volta'sches Conglomerat verwandelt wird, so weit sie durch hinreichende Einlagerung von Wasserkügelchen dazu fähig ist. Die Grösse der Spannung an den Polen hängt hauptsächlich von der Grösse der Wolke und von der Menge der eingelagerten Wasserkügelchen ab. Wegen der überaus grossen Anzahl der absoluten Gaselemente ist die Spannung an den Polen in einer Gewitterwolke von beträchtlicher Ausdehnung hinreichend, um alle Wirkungen der Blitze hervorzubringen.

Es ist klar, dass die Condensation der Wolke nicht in der ganzen Ausdehnung der Wolke gleich rasch vor sich geht; desshalb besteht nicht die ganze Gewitterwolke aus Theilen, welche fähig sind, active Volta'sche Conglomerate zu werden. Diese Stellen können bei der stetigen Steigerung der elektrischen Spannung nicht mitwirken, sie sind während der Bildung der Spannung als nicht vorhanden anzusehen. Hat aber die Wolke einen sehr hohen Grad der Spannung erreicht, so finden durch die feuchten Schichten Spannungsausgleiche statt und dadurch entstehen die Blitze.

Die Flächenblitze bestehen aus Elektrizität, welche von Tropfen zu Tropfen überspringt. Sie sind demnach, wenn sie in ein und derselben Wolke überschlagen, als Büschel zu denken. Aus der Ferne verschwimmen für das Auge die Zwischenstellen der einzelnen Punktlinien, und der Blitz erscheint uns als Ganzes. Auch ist vielleicht dadurch die Zickzackform zu erklären, denn der Spannungsausgleich geht selbstverständlich auf dem Wege vor sich, welcher den geringsten Widerstand bietet. Bei ungleicher Vertheilung der Feuchtigkeit ist folglich der Fall annehmbar, dass nicht der kürzeste Weg, die Gerade, dem Ausgleich am günstigsten sei.

Wenn zwischen den Polen die leitenden Stellen fehlen, und die Wolke eine scharfe Grenze hat, so bilden die Pole nur Influenzwirkungen. Durch solche Wolken entstehen Blitze, die in die Erde oder von Wolke zu Wolke schlagen. Diese Blitze haben keine Büschelform, sondern sind massive elektrische Funken. Hat eine Gewitterwolke ausserhalb und innerhalb leitende Stellen, so schlagen die Blitze zunächst da über, wo der geringste Widerstand ist, im anderen Theile werden dann Inductionsströme erregt, welche die primären Blitze an Intensität noch übertreffen.

Endlich ist noch der Fall denkbar, dass die Gewitterwolke bis zur Erde reicht. Es kann dann der eine Pol auch auf der Erde sein, und ein solcher elektrischer Pol ist die Erscheinung des Kugelblitzes. Dafür spricht die verhältnissmässig langsame Bewegung und die Verschiedenheit in den mechanischen Wirkungen. Der positive Pol ist, analog den verästelten Lichtenberg'schen Figuren, welche durch die positive Elektricität hervorgebracht werden, der zerstörende und der negative Pol der weniger gefährliche Feuerball.

Die gleiche Ursache legt Suchsland auch der Hagelbildung zu Grunde.

Im activen Volta'schen Conglomerat ist jedes Gasmolekül der Träger eines elektrischen Fluidums und wird folglich in seinen mechanischen Verhältnissen durch die elektrischen Kräfte beeinflusst. Alle Luftmoleküle, die zur activen Gewitterwolke gehören, erfahren in ihrer lebhaften Bewegung eine Beschränkung: es tritt eine Fesselung der Stickstoff-Sauerstoff-Elemente ein. Nun aber hängt nach den Untersuchungen von Clausius die Temperatur der Gase nur von der mittleren Energie ihrer geradlinigen Bewegung ab; folglich wird in einer activen Gewitterwolke die Temperatur erniedrigt. Diese Temperaturerniedrigung ist als mechanisches Aequivalent für die gesteigerte Polspannung anzusehen. Je grösser die Spannung an den Polen ist, um so kälter wird es in der Wolke sein, und die Polspannung ihrerseits wird wachsen mit der Menge des eingelagerten Wassers. Nach sehr heissen Tagen ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft bedeutender als sonst; daher können sich leicht Gewitterwolken bilden, in welchen eine sehr tiefe Temperatur herrscht. Fällt nun die Temperatur in Folge starker und plötzlicher Fesselung der Stickstoff-Sauerstoff-Elemente schnell unter Null, so kann das in der Wolke enthaltene Wasser in den Zustand der Ueberschmelzung übergehen, und es ist damit die Grundbedingung für die Bildung des Hagels erfüllt.

Nach dieser Theorie erklärt sich namentlich die schmale Form der Hagelstreifen sehr leicht. Zur Erzeugung der grossen Kälte ist nämlich eine starke Fesselung der Luftmoleküle nöthig. Diese ist am schwächsten an den Rändern und am stärksten in der Mitte der Achse des Volta'schen Conglomerates. Folglich wird auch die Hagelbildung hauptsächlich in der Mitte der Achse des Conglomerates erfolgen, und der Hagel beim Fallen den Erdboden strichweise bedecken.

Diese Theorie empfiehlt sich zwar durch ihre Einfachheit; doch wird sie sich schwerlich viele Freunde gewinnen, weil sie zu einem Resultate führt, das den allgemeinen Beobachtungen widerspricht, nämlich zum Resultate, dass die Stärke der Lufterlektricität mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt zunimmt. Dr. H. Hovestadt¹⁾ meint: „Die Auseinandersetzungen, durch welche Suchsland seine Hypothese zum Range einer Erklärung zu erheben sucht, werden ausser ihm schwerlich jemand genügen.“

Wir verfolgen nun den fraglichen Gegenstand an der Hand Dr. H. Wettstein's²⁾, müssen aber vorerst den Verlauf der Wolkenbildung näher ins Auge fassen.

Die gewöhnliche Veranlassung zur Wolkenbildung besteht in einem aufsteigenden Luftstrom, der viel Wasserdampf mit sich führt. Die steigende Luft gelangt unter einen niederen Druck und muss sich folglich ausdehnen. Bei dieser Ausdehnung wird Wärme verbraucht und diese wird jener Wärmemenge entnommen, welche die Luft mit sich führt, wesshalb die Temperatur der Luft sinkt. Ist die Luft ganz trocken, so sinkt ihre Temperatur für je 101 Meter Steigung um 1°. Bei feuchter Luft tritt ein anderes Verhältniss ein. Sobald die Luft sich soweit erhoben hat, dass ihre Temperatur bis auf den Thaupunkt gesunken, wird eine Ausscheidung von Wasserdampf erfolgen, aber auch gleichzeitig die latente Wärme des Dampfes wieder frei werden. Von dem Augenblick an, in welchem der Thaupunkt erreicht wird, und somit der Sättigungszustand der Luft eintritt, wird das Freiwerden der latenten Wärme der durch das Aufsteigen und Ausdehnen verursachten Ab-

¹⁾ Natur. und Offenb. Heft III. 1888.

²⁾ Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen etc. Wurster Zürich 1880.

kühlung entgegenwirken, und infolge dessen die Temperaturabnahme mit der Höhe bedeutend langsamer werden, als dies bei trockenem Wetter der Fall ist.

Wenn die aufsteigende Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, und sie in der Meereshöhe eine Temperatur von 25°C hat, so ergeben sich nach Wettstein's Rechnung folgende Verhältnisse:

Absolute Höhe:	Abkühlung durch Ausdehnung:	Erwärmung durch Condensation:	Ganze Aenderung:
1000 m.	$10,1^{\circ}\text{C}$.	$18,6^{\circ}\text{C}$.	$- 8,5^{\circ}\text{C}$.
2000 m.	19,8 „	29,7 „	$+ 9,8$ „
3000 m.	29,3 „	35,1 „	$+ 5,8$ „
4000 m.	38,4 „	39,1 „	$+ 0,7$ „
5000 m.	47,2 „	41,4 „	$- 5,8$ „

Aus diesen Zahlenangaben folgt, dass das Sinken der Lufttemperatur infolge der Ausdehnung bis zu Höhen von über 4000 m. durch das Steigen derselben infolge der Dampfcondensation aufgehoben wird.

Ein ähnliches Verhältniss tritt auf, wenn ein aufsteigender Luftstrom mit kalter Luft sich mischt oder wenn ein kalter Polarstrom in warme feuchte Luft einbricht.

Hätte die Luft am Boden nur 75% Wasserdampf, so könnte sie in einer Höhe von 5000 m. bloss auf $+ 7^{\circ}$ erkalten, wenn Erwärmung durch Condensation und Abkühlung durch Ausdehnung gleichzeitig neben einander hergehen würden.

Zur Gewitterbildung ist eine sehr rasche Condensation des Wasserdampfes erforderlich, die von einer starken Temperaturabnahme bedingt ist. Solange die Condensationswärme als solche den Luftstrom begleitet, ist eine Ausscheidung des Wasserdampfes gar nicht möglich, denn die Gewitterwolke kann sich nicht abkühlen, sie muss sich vielmehr erwärmen, wenn das Gewitter sich nicht über 4000 m. ausbildet.

Eine Erklärung des Gewitters hat daher vorerst eine Vernichtung der Condensationswärme oder die Entfernung derselben aus der Gewitterwolke nachzuweisen.

Wohin kommt diese Wärme oder was wird aus ihr?

Wärme entweicht aus einem Körper durch Leitung und Strahlung. Das äusserst geringe Leitungsvermögen der atmosphärischen Luft lässt die erstere Ursache sogleich als unwirksam für die Abkühlung aufsteigender Luftströme erkennen. Aber auch die Strahlung kann bei der Raschheit der Gewitterbildung keinen wesentlichen Einfluss haben; denn das Ausstrahlungsvermögen der trockenen Luft ist jedenfalls ganz ausserordentlich gering, ferner ist der Wasserdampf in zu geringer relativer Menge vorhanden, um einen bedeutenden Einfluss zu üben, endlich ist beim Gewitter über der Gewitterwolke in der Regel noch eine Federwolken-schicht ausgespannt, welche die Ausstrahlung in den Weltraum verhindert.

Es bleibt folglich nichts übrig, als diese Wärme in eine andere Kraftform übertreten zu lassen, und zwar nach Wettstein in Elektrizität.

Es ist der experimentelle Nachweis zwar nicht erbracht, doch sprechen dafür gewichtige Gründe.

„Der Blitz, der eine gewisse, oft sehr bedeutende Arbeit von mechanischer, chemischer, elektrischer, thermischer Natur leistet, kann nicht aus dem Nichts entstanden sein, seiner Arbeit muss wie jeder anderen ein bestimmter Wärmeverbrauch zu Grunde liegen. Bei jeder künstlichen Elektrizitätserzeugung findet ein solcher Wärmeverbrauch statt. Bei der Reibungs- und Influenzelektrisir-

maschine und bei den magnetoelektrischen Maschinen ist es die Körperwärme des Experimentators, die verbraucht wird, in der Volta'schen Kette die Verbrennungswärme des Zinkes oder eines anderen sogenannten positiven Metalles, in dem thermoelektrischen Element und bei der Pyroelektricität die Wärme einer beliebigen äusseren Wärmequelle.

Wenn ein Stück Zink beim Zutritt von Sauerstoff zum Glühen erhitzt wird, so verbrennt es unter Licht- und Wärme-Entwicklung; im Volta'schen Element verbrennt es auch, aber ohne Licht und Wärme-Entwicklung, dafür entsteht ein elektrischer Strom. Wir erhalten mithin durch den nämlichen chemischen Process das einmal Wärme, das anderemal Elektricität, und wir schliessen daraus, dass Wärme und Elektricität auf einem ähnlichen inneren Vorgang beruhen.

Man ist zu diesem Schlusse um so mehr berechtigt, als der elektrische Strom wieder in Wärme verwandelt werden kann und in der geschlossenen Volta'schen Kette wirklich verwandelt wird. Die Wärme, welche im Leitungskreise des Stromes durch diesen entwickelt wird, ist, wenn derselbe keine weitere Arbeit verrichtet, gleich der zu seiner Erzeugung verbrauchten Wärme. Der elektrische Strom vertheilt die zu seiner Erzeugung verbrauchte Wärme über seine ganze Leitung. Ein ähnlicher Vorgang kann in der Gewitterwolke stattfinden. Die elektrischen Ströme, die Blitze, vertheilen die Condensationswärme des Wasserdampfes über einen weiten Raum und verhindern eine Erwärmung der Wolkenluft, wenn die Gewitterelektricität in der Wolke selber entsteht. Hätte sie aber ihren Ursprung ausserhalb der Wolke, so könnte sie auch ohne weitere Folge wieder weggenommen werden. Die Wolke würde sich verhalten, wie der Conductor einer Elektrisirmaschine, der durch die Entladung keinen abkühlenden Einfluss erleidet, weil die zur Erzeugung der Elektricität verbrauchte Wärme nicht ihm entzogen wird. Man ist daher zur Annahme berechtigt, dass die Gewitterelektricität in der Wolke selbst entstehe und zwar durch Umsetzung der bei der Condensation freiwerdenden Wärme in Elektricität.

Da die allgemein bekannten Elektricitätsquellen zur Erklärung dieses Vorganges nicht hinreichen, so ist man versucht, in der Aethertheorie darüber Aufschluss zu suchen.

Nach Edlund¹⁾ und Secchi²⁾ ist das Medium der elektrischen Erscheinungen der Aether, der Träger der Licht- und Wärmestrahlen, jener unsichtbare und unmerkliche durch alle Körper und den ganzen Weltraum verbreitete Stoff, von dessen Atomen angenommen wird, dass sie sich im verkehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung abstossen. Ein Körper ist unelektrisch, im normalen Zustande, wenn die Abstossung seines frei wirkenden Aethers durch die seiner Umgebung aufgehoben wird. Ein Körper ist positiv elektrisch, wenn er mehr freien Aether enthält, als im normalen Zustande; positive Elektricität ist Aetherüberschuss. Ein Körper ist negativ elektrisch, wenn er weniger freien Aether enthält, als im normalen Zustande; negative Elektricität ist Aethermangel. In guten Leitern hat der Aether selbst eine freie Beweglichkeit, in schlechten Leitern ist seine eigene Beweglichkeit gehemmt; er nimmt jedoch an der Beweglichkeit der Körpermoleküle Antheil.

Wie jede Flüssigkeit besitzt der Aether eine doppelte Bewegung: eine fliessende und eine oscillirende. Bei letzterer bleiben die Ausweichungen der Theilchen innerhalb der Elasticitätsgrenze und bringen die Strahlung des Lichtes und der Wärme hervor. Bei der fliessenden Bewegung wird die Elasticitätsgrenze überschritten, und der Aether fängt an zu fliessen, ähnlich wie bei heftigen Schallexplosionen die Luftschwingungen in ein Weiterrücken (Fliesen) der Luft übergehen; dieses Fortschreiten des Aethers ist die elektrische Strömung. Der elektrische Strom ist in dem Stromkreise fliessender Aether oder er ist eine fortschreitende Bewegung des unwägbaren Stoffes innerhalb der wägbaren Materie, bei welcher gelegentlich auch die wägbare Materie mit fortgerissen wird. Die Stromstärke ist die Menge des Aethers, der in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Stromleiters fliesst. Die elektromotorische Kraft hat keine andere Aufgabe, als die in Form von Wärme

¹⁾ Théorie des phénomènes électriques, 1873.

²⁾ Die Einheit der Naturkräfte. (Deutsch. 1876.)

schon vorhandene Schwingungsbewegung des Aethers in eine fortschreitende Bewegung zu verwandeln; wo ein Strom entsteht, muss Wärme verschwinden, wie dies direct Peltier's Kreuz beweist.¹⁾

Die fortschreitende Bewegung erfolgt sehr leicht in den Körpern, die nach dem Innern keine transversale (Licht- oder Wärme-), sondern nur longitudinale Bewegungen gestatten. Im luftleeren Raume pflanzen sich die Impulse, welche dem Aether ertheilt werden, als transversale Schwingungen (Licht, strahlende Wärme) fort; er kann darin nicht über die Grenzen seiner Elasticität erschüttert werden.

Spannungselektricität und Ströme sind von ganz gleicher Natur, nämlich dynamische Zustände. Spannungen gibt es in den Naturkräften überhaupt nicht, sondern nur Bewegungen. Stossen die Ströme auf einen Widerstand, den sie nicht überwinden können, so dauert nur ihre schwingende Bewegung fort, durch welche sie sich mit der entgegengesetzten Kraft des Hindernisses in's Gleichgewicht setzen. Wird das Hinderniss beseitigt, so tritt wieder fortschreitende Bewegung ein.

Bei der sogenannten Reibungselektricität ist, wie bei dem Strome, ein inniger Zusammenhang zwischen Wärme und Elektricität. Dasselbe Reiben erzeugt Wärme und Elektricität oder vielmehr, wenn sich die durch die mechanischen Stösse des Reibens erzeugte Bewegung allmählig in das Innere des Körpers verbreitet, so hat man Wärme, bleibt sie, wie bei schlechten Leitern, an der Oberfläche angehäuft, so hat man Spannungselektricität. Der Vorgang der Elektricitätserzeugung durch Reibung ist folgender: Werden durch mechanische Thätigkeiten die Moleküle an den Oberflächen zweier verschieden erregbarer Körper verschieden erregt, so kann die dazwischen liegende Aetherschicht nicht im Gleichgewichte bleiben, sondern es muss in demjenigen Körper, in welchem die Beweglichkeit geringer ist, sich ein Ueberschuss, und wo sie grösser ist, ein Mangel an Aether ergeben. Bleiben die beiden Oberflächen mit einander in Verbindung, so erscheint das Gleichgewicht nach Aussen nicht gestört, weil sich Ueberschuss und Mangel in nächster Nähe ausgleichen. Sobald aber die beiden Oberflächen getrennt werden, macht sich der Ueberschuss nach Aussen als positive Elektricität durch seinen starken Druck auf die Umgebung geltend, nach Innen dringt er wegen der isolirenden Kraft des Mittels sehr langsam, und sein Druck nimmt mit dem Quadrate der Entfernung ab. In umgekehrter Weise drückt die Umgebung auf die Oberfläche mit mangelndem Aether, und da erscheint die negative Elektricität in gleichen Wirkungen. Ist die Menge des aufgehäuften Aethers grösser, als in dem Körper Platz finden kann, oder überwindet die Heftigkeit seiner Erregung die Cohäsion dieses Körpers, so entsteht eine Entladung, wodurch selbst Theile der wägbaren Materie unter Lichterscheinungen abgerissen werden.

Ganz derselbe Vorgang zeigt sich in der Gewitterwolke. Wenn ein Wassertropfen aus unzähligen Wassermolekülen sich bildet, so ist die Aethermenge für die neuen Atmosphären eine ganz andere, wie für die einzelnen Moleküle; dadurch muss aber die für das elektrische Strömen nothwendige Störung des Gleichgewichtes eintreten, woraus dann in den isolirenden Mitteln die elektrische Spannung sich ergibt. Die Luft, der schlechte Leiter, in welchem die Beweglichkeit geringer ist, hat Aetherüberschuss, und das Wasser, der bessere Leiter, in welchem die Beweglichkeit grösser ist, hat Aethermangel.

In dieser Theorie, nach welcher Secchi und Edlund alle Erscheinungen der Elektricität recht befriedigend erklärt haben, finden wir die Anschauung Wettstein's über die Quelle der Gewitterelektricität begründet.

Die Entstehung und Ausbildung des Gewitters hat nun nach Wettstein folgenden Verlauf:

¹⁾ Peltier's Kreuz besteht aus einem Wismuthstabe und einem Antimonstabe, die sich unter rechtem Winkel kreuzen. Verbindet man zwei verschiedene Enden mit Stromdrähten und schliesst man den Strom, so wird die Kreuzungsstelle abgekühlt, wenn der Strom vom Wismuth zum Antimon fliesst; in der entgegengesetzten Stromrichtung wird sie erwärmt.

Wenn eine warme, feuchte Luftmasse in einer gewissen Höhe anlangt, so beginnt eine Ausscheidung des Wasserdampfes; erfolgt diese mit hinlänglicher Geschwindigkeit, so wird dadurch das Gewitter eingeleitet. An der Stelle der Condensationswärme erscheinen die beiden elektrischen Zustände. Die Luft wird positiv und das Wasser negativ elektrisch.

So lange das negativ elektrische Wasser und die positiv elektrische Luft einander berühren oder unmittelbar nebeneinander sind, was bei einer langsamen Condensation der Fall ist, kann sich keine elektrische Wirkung nach Aussen zeigen; die entgegengesetzten Elektricitäten neutralisiren sich. Bei rascher Wasserausscheidung erfolgt eine schnelle Tropfenbildung. Das ausgeschiedene Wasser gelangt mit sehr niedriger Temperatur in eine tiefere, wärmere Region, kühlt diese ab und leitet auch in ihr eine heftige Condensation ein. Die Gewitterwolke wächst daher von oben nach unten.

Die Niederschläge nehmen beim Fallen die negative Elektricität mit sich und lassen die Luft in positiv elektrischem Zustande zurück. Auch nach den Beobachtungen von Dr. Linss wird durch die Fallbewegung der Niederschlagstheilchen die eine Elektricität dem Erdboden genähert, während die entgegengesetzte in einer höheren Schichte zurückbleibt. Ein ausgedehnter Niederschlagsprocess wird somit stets durch das Vorhandensein zweier übereinander liegender entgegengesetzt elektrischer Horizontalschichten gekennzeichnet sein.

Im Fallen können die Tropfen ihre Elektricität an die unteren noch unelektrischen Luftschichten abgeben und die Entstehung einer negativ elektrischen Luftmasse veranlassen. In solchen Fällen ist die Wolke zwischen entgegengesetzt elektrischen Luftschichten und kann selbst an verschiedenen Theilen durch Influenz die entgegengesetzten Elektricitäten besitzen.

Ist die untere Luftschichte schon positiv elektrisch, so werden die Niederschläge nach Neutralisirung ihrer negativen Elektricität selbst positiv elektrisch, namentlich wenn sie längere Zeit in einer solchen Schichte sich bewegen. Daher mag es zum Theil kommen, dass der Schnee gewöhnlich positiv elektrisch ist.

Die Gewitter treten am häufigsten dort auf, wo der Temperaturunterschied mit zunehmender absoluter Höhe und der Dampfgehalt der Luft am grössten sind. Das ist in der heissen Zone der Fall, wo die lebhafteste Dampfcondensation stattfindet. Dort sind die Niederschläge mit elektrischen Explosionen die Regel, diejenigen ohne solche die Ausnahme. Mit der Entfernung vom Aequator werden die Gewitter seltener und die Niederschläge ohne elektrische Entladung häufiger; in den kalten Zonen ist das Gewitter eine Seltenheit.

Die Entladungen treten in mannigfachen Meteoren auf.

Die Linienblitze sind nach Spektralbeobachtungen eigentliche elektrische Funken. Der Ausgleich starker Spannungen entgegengesetzter Elektricitäten zwischen Wolke und Wolke, zwischen einer Wolke und der Erde, zwischen einer Wolke und einer höheren Luftschichte, und endlich bei wolkenlosem Himmel zwischen der Erde und den höheren Luftmassen — ist die Erscheinung dieser mächtigen Funken. Die Linienblitze führen die lebendige Kraft der Condensationswärme in die weitere Umgebung ab und verbrauchen sie hier zur mechanischen Zerstreuung, Zusammenpressung und Erschütterung der Luft. Dadurch wird eine Erwärmung der Wolkenluft verhindert und eine weitere Dampfcondensation ermöglicht.

Die Flächenblitze sind nach spektroskopischen Untersuchungen Büschelentladungen. Diese Art der Entladung besteht in einem Uebergange der Elektricität von einem abgerundeten Leiter in die Luft. Es scheint daher, dass die Flächenblitze dadurch entstehen, dass die stark elektrischen Regentropfen als kugelförmige Leiter ihre Ladung an die Luft abgeben oder unter anderen Umständen von der stark positiv elektrischen Luft diese positive Elektricität aufnehmen. Diese Ausgleichung der getrennten Elektricitäten hat eine Wärmeerzeugung in der Wolke selber zur Folge; die Flächenblitze verzögern daher die Dampfcondensation und verlangsamen den Gang des Gewitters.

Das Wetterleuchten, d. i. die rasche Aufeinanderfolge hellleuchtender Elächenblitze im Dunkel der Nacht, ist meistens der Widerschein entfernter Gewitter, manchmal auch das ruhige Ausströmen von Büschellicht aus schleierartigen Wolkenüberzügen.

Die Kugelblitze sind nach Planté ¹⁾ langsame und partielle Entladungen zweier Gewitterwolken, wenn Elektrizität in überaus grosser Quantität vorhanden ist. Die folgenden interessanten Versuche, die er mit seiner rheostatischen Maschine angestellt hat, führten ihn zu diesem Schlusse. Tauchte er das negative Drahtende einer Batterie, in welche 200 Accumulatoren eingeschaltet waren, in ein Gefäss mit gesalzenem Wasser, und näherte er den positiven Pol der Oberfläche der Flüssigkeit, so bildete sich an dessen Ende eine Kugel aus der Flüssigkeit heraus, die unter Umständen bis 1 cm. Durchmesser erreichte und sich in rascher Wirbelbewegung auf der Oberfläche des Wassers fortbewegte. Wurde die Batterie bis auf 400 Elemente verstärkt, so bildete sich eine Anzahl grösserer und kleinerer Kugeln, die nach allen Seiten aus dem Gefässe heraus und weit hinweg geschleudert wurden. Bei einem anderen Experimente, wobei er 800 Accumulatoren hinter einander einschaltete, wurde ein Condensator geladen, bei welchem als isolirende Schicht eine Glimmerplatte Verwendung gefunden. Bei der Entladung durch diese Platte wurde etwas von dem Metalle des Condensators, sowie auch von der isolirenden Schicht geschmolzen und es entstand eine kleine, leuchtende Kugel von sehr intensivem Glanze, welche sich langsam auf der Oberfläche des Condensators bewegte und auffallende Curven beschrieb.

Wie am Conductor der Elektrisirmaschine aus angebrachten Spitzen Elektrizität in Büschellichtform ausströmt, so findet nicht selten bei stark elektrischem Zustande der Luft, namentlich bei Regen, Schnee und Sturm, auf spitzen oder scharfkantigen Gegenständen, wie Masten, Thürmen, Helm- und Lanzen spitzen, Pferdeohren, Baum- und Buschzweigenden, ein ähnliches Ausströmen von Elektrizität statt und zwar gleichfalls in Form kleiner büschelartiger Flammen, welche manchmal von leisem Rauschen begleitet sind. Diese Erscheinung ist das Ergebniss der Ausgleichung starker elektrischer Spannungen zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche und wird St. Elmsfeuer genannt. Den Alten waren diese Erscheinungen unter dem Namen Castor und Pollux bekannt. Die italienischen Seefahrer des Mittelalters hielten diese Flämmchen bei stürmischer See für glückbedeutend und schrieben sie dem heiligen Erasmus zu, woher der Name St. Ermusfeuer, der nach und nach in den jetzt gebräuchlichen überging.

Sobald die Condensationswärme in Form von Elektrizität aus der Wolke beseitigt ist, bietet auch die Erklärung der Hagelbildung keine wesentlichen Schwierigkeiten mehr. Wenn die feuchte Luft 3000 Meter steigt, so wird sie mit den in ihr schwimmenden Wasserkügelchen auf $-4,3^{\circ}$ abgekühlt. Die Kügelchen müssen beim Zusammenfliessen sofort erstarren. Die dabei frei werdende Wärme kann die umgebende Luft in keinem Falle auf 0° erwärmen. Fällt das entstehende Hagelkorn durch die Wolkenmasse, so wächst es durch Aufnahme der von ihm getroffenen Kügelchen um so mehr, je reicher an Wasser und je dicker die Wolke ist.

Daraus folgt aber, dass wenigstens im Sommer der Beginn der Hagelbildung in grosser Höhe erfolgen muss. Alex. v. Humboldt behauptet aber, dass die Wolken, in welchen man den Hagel zusammenschlagen hört, grösstentheils bedeutend unter der Grenze der positiven und negativen Temperatur liegen. Wir dürfen daher nicht, wie Hube, den Hagel als einziges Werk der atmosphärischen Elektrizität ansehen, sondern müssen noch andere Factoren beiziehen.

Ohne Zweifel übt die Beschaffenheit der Erdoberfläche grossen Einfluss auf die Hagelbildung. Riniker ²⁾ gelangte bei seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Hagelschläge im Kanton Aargau zu dem Ergebnisse, dass die Hagelwetter eine locale Erscheinungsform von oft weit verbreiteten Gewittern sind, die sich durch ausserordentliche Heftigkeit sowohl der elektrischen

¹⁾ Natur und Offenb. 1887. Heft V.

²⁾ Wissen der Gegenwart. Band 2.

Entladungen als auch des Sturmes und des Niederschlages auszeichnet. Sie entstehen nicht in freier Ebene, sondern nur dort, wo nach einer langen Reihe heisser Tage Gewitterwolken über kahle oder schlecht bewaldete Hochflächen streichen und unter der Einwirkung von Gegen- und Seitwind über tiefen, erhitzten Thalgründen zum Stehen gebracht werden. In engen Thälern ist der Verlauf des mit Hagelschlag begleiteten Gewitters gewöhnlich folgender: Die Gewitterwolke kommt von Südwest oder West, Nord- oder Nordostwind hemmt ihren Lauf oder bringt sie zum Stillstand. An Felsenwänden, Schluchten oder Waldblößen bildet sich ein Wirbel, der Herd des Hagels.

Nach vielen Hageltheorien sind die Wirbelbewegungen der Luft die Hauptursache der Hagelbildung.

Blaise Monèstier (1752) nimmt die Wirbel in der Atmosphäre als Bedingung zur Erzeugung des Hagels an.

Es kann bei einem Gewitter kein Hagel entstehen, meint Schwaab (1844), wenn nicht ein sehr kalter Luftstrom in die Gewitterregion eindringt. Durch Mischung der Luftschichten von ungleichen Temperaturen gefrieren in Folge des Erkaltes dieser Region die Wasserdünste. Es entstehen Eiskörnchen (Graupeln), welche von dem Luftstrom und von anderen neuhinzukommenden kalten Strömen umhergetrieben werden und dadurch sich berühren und aneinandersetzen.

Mohr (1862) geht von der Thatsache aus, dass bei der Verdichtung von Wasserdampf eine sehr grosse Raumverminderung stattfindet. Hagelbildung tritt auf, wenn eine bedeutende Raumverminderung eingetreten ist. Höher gelegene kalte Luftschichten stürzen in den luftverdünnten Raum, bringen dort wegen ihrer Kälte neue Verdichtung und somit auch neue Raumverminderung hervor und sind dadurch die Ursache, dass wieder neue, noch höhere und kältere Luftschichten herangezogen werden. Es bildet sich in der Wolke ein trichterförmiger Strudel von eiskalter Luft und gefrorenem Wasser, das schraubenförmig wirbelnd zur Erde niederbraust.

Nebst grosser Kälte und starker elektrischer Spannung ist nach Faye ein Wirbel zur Hagelbildung nothwendig. Der Hagelsturm ist das durch einen in höheren Regionen entstandenen Luftwirbel veranlasste Niederstürzen von Cirruswolken in die Nimbusregion. Die Eisnadeln, welche in den durch ihren Contact erkalteten Dünsten der Nimbuswolken gegen einander anprallen, werden zu kleinen Körnern verdichtet, die sich bald mit einer dünnen durchsichtigen Eisschichte umgeben, da sie ohne Unterlass neue Wolken und neues Wasser antreffen. So nehmen sie stets an Umfang zu bis zu dem Augenblicke, wo sie an der Spitze des trichterförmigen Wirbels, der sie mit sich führt, angelangt sind und aus dieser nach allen Richtungen hin weggeschleudert werden.

Auf ähnliche Weise erklären Hann und Lucas das Hagelwetter. Sie halten dasselbe für eine kleine, lebhaft bewegte Cyklone, die nach unten sich trichterförmig verengt. Durch die wirbelförmige Bewegung entsteht im Inneren vermöge der Centrifugalkraft eine so starke Luftverdünnung, dass kalte Luftschichten von oben in den wasserdampfreichen Wirbel herabfallen. Sie kreisen im Wirbel, ohne sich zu erwärmen, weil sie nicht unter höheren Luftdruck gelangen, und bewirken eine gesteigerte Condensation. Infolge der fortwährend herabfallenden kälteren Luft wird die Temperatur im Wirbel so niedrig, dass die Wassertröpfchen gefrieren oder die herabgefallenen Eisnadelchen zu Graupelkörnern sich vereinigen. Diese Körner werden im Wirbel nach Aussen geschleudert, umhüllen sich in der unterkühlten Wolkenschicht mit concentrischen Eisschichten, bewirken im Wirbeltanz das bekannte prasselnde Geräusch und fallen zu Boden, sobald sie aus dem Bereiche der Centrifugalkraft hinausgekommen sind.

In den Wirbelbewegungen der Luft findet Andries ¹⁾ eine allen Anforderungen genügende Kraftquelle, die oft sehr grossen Hagelstücke längere Zeit in der Atmosphäre schwebend zu erhalten. Die Wirbelbewegungen führen die feuchten, warmen Dämpfe mit grosser Schnelligkeit und

¹⁾ Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie. XII. Jahrg. 1884.

Kraft in bedeutende Höhen. Dabei verwandeln sich die Dämpfe an den eiskalten Wänden des aus den absteigenden Spiralen der kalten oberen Luft gebildeten Wirbels in kurzer Zeit in Eisnadeln, welche sich beim Fortschreiten zu einem Kerne zusammenballen. Je nach der Intensität des Wirbels setzt sich dieser Process bis in grosse Höhen fort, und dadurch ist hinlängliche Zeit zur Entwicklung von sphäroidal gestalteten Hagelkörnern gegeben.

Alle diese Theorien werden hauptsächlich aus dem Grunde als nicht völlig genügend anerkannt, weil in denselben die Wärmemenge, die bei der Condensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre frei wird, nicht oder zu wenig in Rechnung gezogen wurde.

Wenn aber nach Lichtenberg die grosse Verdunstungskälte in den oberen Luftschichten, in welchen der Hagel entsteht, aus einem Gebundenwerden der Wärme zur Erzeugung der Elektrizität entsteht, oder wenn nach Wettstein die Condensationswärme in Elektrizität umgewandelt wird, so erhält man aus den letztangeführten Ansichten in Verbindung mit der oben angegebenen Art und Weise der Entstehung des Gewitters recht befriedigenden Aufschluss über weiter ausgedehnte und locale Hagelwetter. Namentlich erklären sich die breiteren oder schmäleren Streifen sowie die runden Stellen der Hagelverwüstungen ganz ungezwungen dadurch, dass grössere oder kleinere Wirbel sich bewegen oder am Entstehungsorte nach ihrer Ausbildung wieder verschwinden.

Wenn man nach Wettstein's Darstellung den Vorgang der Entstehung der Gewitterelektrizität weiter verfolgt, so kommt man zum Theil auch der Quelle der normalen Lufterlektrizität auf die Spur. Wird der Regen bei seinem Entstehen negativ elektrisch, so darf man annehmen, dass er vorwiegend mit negativer Elektrizität auf dem Boden anlangt, dass also mehr positive als negative Elektrizität in der Luft zurückbleibt. Gehen von der Luft Blitze aus, so wird sie als schlechter Leiter immer noch einen Theil ihrer positiven Elektrizität zurückbehalten. Dieser Rückstand ist die normale Lufterlektrizität.

Da aber nach Linss, wie Seite 9 erwähnt, die Niederschläge der Erdoberfläche die zerstreute Elektrizität niemals völlig ersetzen können, so stünde diese Ansicht mit der oft erwähnten Thatsache, dass die Lufterlektrizität im Winter und bei heiterem Wetter am stärksten ist, im Widerspruch. Bringen wir sie aber mit Edlund's Theorie in Verbindung, so kommen wir den allgemeinen Resultaten der Forschung am nächsten.

Die nach Edlund fortwährend aufsteigende positive Elektrizität vermehrt die positive Elektrizität der höheren Luftschichten bei heiterem, trockenem Wetter, sie wird aber bei feuchtem Wetter, namentlich bei Gewittern, zum Theil oder ganz durch die herabgeführte negative Elektrizität neutralisirt. Dadurch erklärt sich die Thatsache, dass die Stärke der Lufterlektrizität mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt abnimmt. Als eine Folge der genannten Neutralisirung ist auch die Erscheinung zu betrachten, dass feuchte, warme Süd- und Südwestwinde die normale Lufterlektrizität schwächen, während trockene, kalte Nord- und Nordostwinde sie vermehren.

Wie Edlund die Entstehung des Gewitters erklärt, werden wir bei der Darstellung seiner Nordlichttheorie vorübergehend bemerken.



III.

Das Nordlicht.

Unter allen Himmelserscheinungen, welche durch Grossartigkeit und Schönheit das Auge des staunenden Bewunderers fesseln, nimmt das Nordlicht wohl eine der ersten Stellen ein. Es zeigt uns das prachtvolle Wetterleuchten ferner Blitze, ohne dass wir deren Nahen zu befürchten brauchen; es erinnert uns an die Lichtschweife der grössten Kometen, indem es deren gleichsam Hunderte zugleich an den Himmel zaubert; es erscheint uns als ein Seitenstück zum schönen Zodiakallicht, das es aber durch die Pracht seiner Farben weit übertrifft. Gleich einer stundenlang andauernden Morgenröthe verwandelt es den kalten Norden in lichten Ost und gleich dem ruhig majestätischen Regenbogen steht es wie ein Friedenszeichen am Firmamente.

Der Schiffslieutenant Lottin, welcher zu Bossecop, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, vom September 1838 bis zum April 1839 143 Nordlichter und zwar 64 während der längsten Nacht d. i. vom 17. November bis zum 25. Januar beobachtete, beschreibt das Phänomen ungefähr in folgender Weise:

Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von $4-6^{\circ}$ herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmählig die Gestalt eines Bogens von blassgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde aufstützen. Dieser Bogen steigt langsam in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche die lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen oder Fäden, welche sich nach und nach verlängern oder verkürzen. Der unterste Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmässigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, und ihre Richtung ist die der Declinationsnadel. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zum magnetischen Zenith, d. h. bis zu dem Punkte des Himmels, nach welchem der Südpol der Inclinationsnadel sich richtet, und bilden so ein Bruchstück eines unermesslichen Lichtgewölbes. Bei dem Steigen des Bogens gegen das Zenith hin zeigt sich in seinem Glanze eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst stufenweise von Fuss zu Fuss.

Auch in horizontaler Richtung erscheinen am Bogen Bewegungen, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich sind. Wenn einer der Füsse oder beide den Horizont verlassen, so werden diese Undulationen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint dann als ein langes Strahlenband, das sich in mehrere Theile trennt, welche in mannigfachen Windungen gegen oder um ein Centrum in der Nähe des magnetischen Zeniths sich bewegen und die Krone des Nordlichtes bilden.

Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen; sie wird so gross, dass sie die der Sterne erster Grösse übertrifft. Die Strahlen schiessen mit Schnelligkeit; die Biegungen bilden und entwickeln sich wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält sein blassgelbes Licht. Diese Farben nehmen immer ihre gegenseitige Lage ein und haben eine bewunderungswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Bluthroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün. Bald nimmt der Glanz ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich oder verschwindet nach und nach. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, derselbe bildet sich von neuem, setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith. Die Strahlen werden durch die Perspective immer kürzer, und man sieht sie von ihrem Fusse aus. Wenn sie sich in diesem

Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch die grüne Färbung der oberen Theile gesehen wird.

Unterdessen bilden sich am Horizont neue Bogen, welche fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben.

So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschreiten, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können. Die Krone dauert nur einige Minuten sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne das man vorher einen Bogen wahrnimmt. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen erscheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begrenzte Lichtschimmer (den Nordlichtdunst), welche, kleinen Cumulis ähnlich, am Himmel gruppirt sind und mit zunehmender Tageshelligkeit verschwinden.

Denkt man sich nun ein lebhaftes Schiessen von Strahlen, welche sowohl in Beziehung auf ihre Länge als auf ihren Glanz sich beständig ändern; stellt man sich vor, wie die herrlichsten rothen und grünen Farbtöne in wellenartigen Bewegungen sich zeigen, wie Lichtströme einander folgen und wie das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure, prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgespannt ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, das dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiel, auf dessen Beschreibung man verzichten muss.

Wie in der Region der Calmen fast jeden Tag ein Gewitter ist, so wird in den Polar-gegenden beinahe jede Nacht durch ein Polarlicht erhellt, und wie vom Aequator gegen die Pole hin die Zahl der Gewitter immer kleiner wird, so nimmt das Auftreten von Polarlichtern stets zu. Nur die grössten Polarlichterscheinungen, wie z. B. am 4. Februar 1872, reichen bis zum 20. Breitengrad, und dann tritt gewöhnlich Nord- und Südlicht zugleich auf.

Die zahlreichsten und regelmässigsten Nordlichter erscheinen in einem Gürtel, etwa 17° von dem magnetischen Nordpol entfernt. Dieser Gürtel ist die Maximalzone der Nordlichter. Da der magnetische Pol auf der Halbinsel Boothia Felix zwischen Nordamerika und dem geographischen Nordpol, von diesem nahezu 20° Grad entfernt, liegt, so kann man in Nordamerika diese Zone leicht überschreiten und alsdann nicht nur die abnehmende Häufigkeit der Nordlichter gegen den magnetischen Pol hin beobachten, sondern auch in der Erscheinung, dass dann die meisten Polarlichter südlich vom Beobachter entstehen, die Maximalzone zuverlässig bestimmen.

Die Zahl der Nordlichter ändert sich indess nicht bloss mit dem Orte, sondern auch an einem und demselben Orte mit der Zeit. Zunächst zeigt die Häufigkeit der Nordlichter eine jährliche Periode: Sie ist zur Zeit der Nachtgleichen am grössten und zur Zeit der Solstitien am kleinsten. Diese Periode stimmt mit der jährlichen Periode der Zahl und Intensität der magnetischen Störungen überein. Ausserdem besteht die höchst merkwürdige Periode von $11\frac{1}{9}$ Jahren: Die Häufigkeit der Nordlichter erreicht alle $11\frac{1}{9}$ Jahre ein Maximum und nicht ganz in der Mitte der Zwischenzeit ein Minimum; an dieser Periode nimmt ebenfalls die Häufigkeit der magnetischen Störungen Antheil, sowie auch die tägliche Variation der Declination und die Zahl und Mächtigkeit der Sonnenflecken. Endlich ist ein besonders starkes Maximum der genannten Erscheinungen nach Verlauf von 5 solchen Perioden, d. i. ein Zeitraum von 55,6 Jahren, constatirt worden.

Bezüglich der Erhebung des Nordlichtes über den Horizont sind die Angaben verschieden. Die früheren Naturforscher waren der Ansicht, dass der Sitz der Nordlichter über den Grenzen der Atmosphäre zu suchen sei. Nach allgemeiner Ansicht neuerer Beobachter bildet sich das Polar-

licht innerhalb unserer Atmosphäre und kann nie über eine Höhe von 20 Meilen hinausgehen. Nach Wrangel und Farquharson entstehen Polarlichter selbst in der Region der Wolken.

Das Nordlicht wird nach dem Berichte glaubwürdiger Zeugen bisweilen von einem eigenthümlichen, knisternden Geräusch begleitet, das dem Knistern des gefrorenen Schnees unter den Füßen des Wanderers oder dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuerbrunne ähnlich ist. Dieses Geräusch ist nach Mohn eine Wirkung der von der Erde ausströmenden Electricität. Denn es kann nicht aus den Höhen, in welchen das Nordlicht entsteht, herabdringen, wo dort die Luft zu dünn ist, um den Schall bis auf die Erdoberfläche fortzupflanzen.

Auch auf den Zustand der unteren Luftschichten scheint das Polarlicht einzuwirken, wie der Himmel beim Erscheinen eines starken Nordlichtes, zumal wenn die Krone sich zeigt, in ungewöhnlich schneller Wechselfolge sich bewölkt und wieder klärt.

In besonders enger Beziehung steht das Nordlicht zum Erdmagnetismus. Es ist bereits erwähnt worden, dass der höchste Punkt des Nordlichtbogens im magnetischen Meridian liegt, und dass die Strahlen der Richtung der Inclinationsnadel folgen. Dazu kommt noch, dass die Declinationsnadel in ungewöhnlich starke Schwankungen geräth. Schon mehrere Stunden vor dem Erscheinen eines Polarlichtes macht die Magnetnadel eigenthümliche Bewegungen, der Telegraph arbeitet unregelmässig und das Telephon macht sich, wie beim Auftreten eines Gewittes, auffallenderweise durch einen rauschenden Ton bemerklich. Während der Dauer des Nordlichtes erleiden die täglichen Variationen bedeutende Unregelmässigkeiten. Ist das Nordlicht lebhaft, so weicht die Declinationsnadel nach Hannsteen in Zeit von wenigen Minuten um 3 bis 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und macht zuweilen eine sehr veränderliche Bewegung. Diese ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel findet nicht allein in jenen Gegenden statt, in welchen das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch an Orten, welche von dem Schauplatze des Nordlichtes ziemlich weit entfernt liegen.

Sehr interessant ist die Erscheinung, dass die Intensität des Erdmagnetismus kurz vor dem Entstehen eines Nordlichtes bis zu einer ausserordentlichen Höhe steigen kann; sobald aber das Licht erscheint, nimmt die Intensität des Erdmagnetismus wieder ab und zwar in dem Verhältnisse, in welchem das Nordlicht lebhafter wird.

Die Natur des Nordlichtes ist noch nicht völlig ermittelt. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist das Phänomen elektrischen Ursprungs. Schon im Jahre 1746 sprach Winkler den Gedanken aus, dass das Nordlicht elektrischer Natur sei. Er fand eine auffallende Aehnlichkeit zwischen dem Leuchten des Nordlichtes und der Electricität im luftverdünnten Raume, im sogenannten elektrischen Ei.

Später vertheidigte Canton dieselbe Ansicht. Aber erst nach der Entdeckung Fraunhofer's wurde das elektrische Spektrum gründlicher untersucht. Es zeigte sich dabei zunächst, dass das Spektrum sehr verschieden war, je nachdem ein elektrischer Funke oder das Licht im luftverdünnten Raume untersucht wurde. Bezüglich des elektrischen Funkens hat Masson erwiesen, dass das Leuchtende in demselben vorzüglich die sehr kleinen, abgerissenen Theile der Conductoren seien, welche durch das Abreissen und den Durchgang der Electricität glühend gemacht ihr eigenes Licht ausstrahlen. Es zeigte nämlich der Funke zwischen Eisenelektroden das Eisenspektrum, zwischen Kupferelektroden die charakteristischen Linien des Kupferspektrums, und das elektrische Kohlen- und Glühlicht liess das Kohlenspektrum erkennen. Van der Willigen und Hittorf fanden, dass auch das Spektrum des elektrischen Eies von der Natur des eingeschlossenen Gases abhängig ist, wenn auch die charakteristischen Linien am negativen Pole in erheblich schwächerer Lichtstärke hervortreten als am positiven Pole.

Daraus folgt, dass man zwischen dem Spektrum des elektrischen Funkens und dem des Nordlichtes einen Vergleich nicht anstellen kann. Aber auch das Spektrum, das die mit verdünnter Luft gefüllten Geissler'schen Röhren geben, zeigt ungeachtet aller Aehnlichkeit mit dem des

Polarlichtes eine wesentliche Verschiedenheit. Wie vielfache Untersuchungen dargethan, tritt im Nordlichtspektrum jedesmal selbst eine charakteristische Linie auf, die gelblich grüne Nordlichtlinie, welche an der Grenze des gelben Theiles des Spektrums nach dem Grün zu liegt. In der Regel zeigt das Spektrum auch noch andere Linien; die meisten derselben liegen nach dem violetten Ende zu. Bei sehr glänzenden Nordlichterscheinungen ist zuweilen auch eine rothe Linie zwischen A und D des Sonnenspektrums beobachtet worden. Auffallender Weise scheinen die violetten Strahlen bei den meisten Nordlichtern ganz zu fehlen oder nur äusserst schwach aufzutreten.

Nach Angström's Beobachtungen soll sich die Nordlichtlinie auch im Zodiakallicht vorfinden und in der sogenannten Reflexion des Himmelsgewölbes auftreten; Browning will sie in den Spektren einiger Novembermeteore in ausgeprägter Intensität gefunden haben. Andererseits hat man nachgewiesen, dass das Nordlicht nicht polarisirt ist, demnach ist dessen Ursache nicht in einer Reflexion zu suchen.

In jüngster Zeit hat Dr. Hoppe durch seine Untersuchungen eine wesentliche Stütze für die elektrische Natur des Nordlichtes gegeben. Er beobachtete das Spektrum eines elektrischen Büschellichtes und konnte mit Ausnahme der Linie im Rothen die charakteristische Nordlichtlinie sowohl, als auch viele andere Linien fixiren, die bei spektroskopischen Beobachtungen des Nordlichtes bemerkbar wurden. Durch Annäherung eines angefeuchteten Körpers konnte er überdiess dem Scheine die verschiedensten Formen, eine Strahlenkrone, intensive Lichtbündel u. s. w. geben, die wenigstens mit den Erscheinungen des Nordlichtes Aehnlichkeit haben.

Lemström¹⁾ gelang es, die elektrische Natur des Nordlichtes experimentell nachzuweisen. Auf einem Berge in Lapland stellte er ein Netzwerk von Drähten auf, von denen viele Spitzen nach oben ausliefen. Indem er diesen Apparat isolirte und durch einen Telegraphendraht mit einem Galvanometer am Fusse des Berges in Verbindung setzte, war er in der Lage, wirkliche elektrische Ströme zu beobachten, sobald der Nordlichtschein über dem Berge erschien.

Die Frage über die Entstehung des Nordlichtes wird sehr verschieden beantwortet. Die Einen verlegen die Ursache der Erscheinung in die Grenzen unserer Atmosphäre, während Andere weit über diese hinaus ihr einen Platz anweisen.

Nach P. Hell sind es die in der Atmosphäre schwebenden Eisstückchen, die das von dem Schnee und Eis des hohen Nordens reflektirte Sonnenlicht zurückstrahlen und zugleich in viele Farben zerlegen. Halley nahm ein dem Nordpol entströmendes und dem Südpol zufließendes magnetisches Fluidum als Ursache des Polarlichtes an. Franklin sieht die Polarlichter als Entladungen der an den Polen angehäuften Elektrizität der Erde an. Nach Mayer soll der das Meer streifende Passatwind und nach Munke der Einfluss der Sonnenwärme die Veranlassung zu dem leuchtenden Phänomen sein. Während Hammerschmid den Wasserstoff in seiner Verbindung mit dem höher gelegenen Aether als die Ursache des Phänomens annimmt, vermuthet Peiroux de la Condrenière überall elektrische, entzündbare Stoffe, und lässt Kirwan den auf der Erde erzeugten Wasserstoff sich an den Polen ansammeln und durch Elektrizität entzünden.

Die Entstehung des Nordlichtes ist nach Zehfuss (1872) an ein materielles Substrat geknüpft, als welches die zuweilen der Erdkugel nahe tretenden Schwärme feinerer Meteormassen von gasiger oder staubartiger Aggregatform, die Meteorwolken, anzusehen sind. Ihr Licht ist wie das der Planeten und des Zodiakallichtes meist geborgtes Sonnenlicht. Das nicht selten dabei vernommene Geräusch rührt, wie bei den Feuerkugeln, von einzelnen die Atmosphäre durchschneidenden Meteorsteinen her, die den Meteorwolken beigemischt sind. Die magnetischen Störungen sind aus dem eigenen oder dem durch die Erdkugel in den eisenhaltigen Meteormassen inducirten Magnetismus zu erklären.

¹⁾ Thompson's Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus. Deutsch. Tübingen. 1887.

Nach A. Müller S. J.¹⁾ werden durch die Elektricität, die mit den Passatwinden vom Aequator gegen die Pole hin strömt, die Eisnadelchen in den hohen Luftschichten positiv elektrisch. Dieselben wandern ebenfalls infolge der allgemeinen Strömung den Polen zu. Mit zunehmender Abnahme der Centrifugalkraft gelangen sie nicht bis an die Pole, sondern fallen schon früher vermöge ihres Gewichtes zur Erde. Zu einer Gewitterentladung fehlt diesen positiv elektrischen Nadeln die nothwendige Spannung und einen langsamen Ausgleich mit der Erdelektricität erschwert ihre Isolirung. Desshalb springt ihre Elektricität, sobald sie in die Nähe der negativ elektrischen Erde gelangen, an diese über. Die zuerst herabfallenden Theilchen vermitteln den Austausch mit den folgenden, diese wieder mit den höheren, und so pflanzt sich der elektrische Ausgleich wie ein Lauffeuer bis in die höchsten Regionen fort: wir haben das Aufschieszen des ersten Nordlichtstrahles, dem bald mehrere und bald eine ganze Schaar folgen.

In neuerer Zeit hat J. Unterweger²⁾ über die Natur des Polarlichtes eine nicht unbeachtenswerthe Hypothese aufgestellt. Dieser zufolge ist das Polarlicht durch Bewegung des Sonnensystems im Weltraume bedingt, indem durch Verdichtung des Weltäthers an der Stirnseite der Weltkörper und durch Verdünnung desselben an der Rückseite Differenzen der elektrischen Spannung in den Atmosphären der Weltkörper entstehen. Der Ueberschuss an Weltäther an der Grenze der Atmosphäre ist identisch mit positiver Elektricität, der Mangel an Aether ist negative Elektricität. Durch die Gesamtbewegung der Erde im Weltäther wird eine elektrische Differenz einerseits zwischen der irdischen Lufthülle und dem Raume, aus welchem die Erde in ihrer schraubenförmigen Bahn tritt, andererseits zwischen der nördlichen und südlichen Lufthemisphäre hervorgerufen, so dass letztere sich gegen erstere negativ und gegen jenen Raum positiv elektrisch verhält. Es geht daher ein continuirlicher elektrischer Strom von der nördlichen gegen die südliche Erdhälfte und von dieser gegen den Weltraum. Weil der Widerstand des festen Erdkörpers verschwindend klein ist im Vergleiche zum Widerstande der Luft, so ist wohl anzunehmen, dass der Strom sich verzweige und zum Theil die Lufthülle durchbreche und die Erde als Leiter benütze, während andere Theile des Stromes durch die höchsten Luftschichten oder an der Grenze der Atmosphäre unter Lichterscheinungen sich fortbewegen. Das Polarlicht ist als eine Lichtentwicklung zu erklären, welche stattfindet, wenn der elektrische Strom durch Luftschichten geht, die hiefür geeignet sind.

Mit A. Müller und J. Unterweger ist wohl die weit grössere Zahl der Forscher der Ansicht, dass das Polarlicht eine elektrische Erscheinung innerhalb der Atmosphäre sei. Der elektrische Strom hat vor allem grossen Einfluss auf die Magnetnadel, die er bei seiner Annäherung von ihrer gewöhnlichen Lage ablenkt; er bringt vorzüglich im luftverdünnten Raume die prächtigsten Lichterscheinungen zum Vorschein; er entladet sich unter knisterndem Geräusch oder auch unter krachendem Donner je nach dem Grade seiner Spannung. Wegen der innigen Beziehung zu den Wirkungen des elektrischen Stromes nennt Reis das Polarlicht im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Blitz- oder Büschellicht-Gewitter ein Glimm- oder Glühlicht-Gewitter.

Die Nordlichttheorien von Wettstein und Edlund rechtfertigen diese Benennung.

Es ist Seite 18 bereits bemerkt worden, dass nach Wettstein durch den Regen meistens negative Elektricität zur Erde gelangt, während positive in der Luft zurückbleibt. Die negative Elektricität würde sich auf der Erdoberfläche gleichmässig vertheilen, wenn die Erde eine Kugel wäre. Da aber ihre Oberfläche am Aequator stärker gekrümmt ist als an den Polen, so häuft sich dort eine grössere Menge Elektricität an als hier. Auch fliesst die Quelle für die atmosphärische Elektricität am reichlichsten in den äquatorialen Gegenden, wo stellenweise kein Tag vergeht ohne die heftigsten Gewitterentladungen. In diesen Gegenden herrscht folglich die grösste Menge Elektricität: negative auf der Erdoberfläche, positive in den Luftregionen; beide

¹⁾ Natur und Offenb. XII. Bd. 10 Heft. 1883.

²⁾ Beiträge zur Erklärung der kosmisch-terrestrischen Erscheinungen. K. Gerold's Sohn. Wien 1885.

wirken influenzierend auf einander, sie binden sich. Da in den äquatorialen Gegenden die Luft in grösstem Massstabe in die Höhe steigt, so entfernt sie sich von dem negativ elektrischen Conductor, unter dessen Einfluss ihre positive Elektrizität gebunden ist, und es wird diese mit steigender Höhe in zunehmendem Masse frei; die elektrische Spannung nimmt mit der Höhe zu, und wenn das Niveau erreicht ist, in welchem die Luft so dünn ist, dass sie als Leiter der Elektrizität dient, so kann ein Abströmen dieser freien Elektrizität nach denjenigen Gegenden hin erfolgen, in welchen die Luft weniger elektrisch ist, im allgemeinen gegen die Pole hin, und zwar im Norden gegen den Ort geringster Erwärmung, gegen den arktischen Pol in Nordamerika, wo sich gegenwärtig der magnetische Nordpol befindet. Denn in diesen Gegenden finden die seltensten und schwächsten Niederschläge statt, fliesst also die Quelle positiver Elektrizität am spärlichsten und ist zugleich die Influenzwirkung des negativ elektrischen Erdsphäroids am geringsten.

Mit der Bewegung des elektrischen Stromes gegen die Pole hin wird der Querschnitt der Strombahn, des Stromleiters, infolge der Luftcontraction durch Abkühlung immer kleiner und dadurch nimmt nach elektrodynamischen Gesetzen die Erwärmung des Stromleiters fortwährend zu. Diese Erwärmung kann endlich so gross werden, dass Leuchten eintritt, dass ein Polarlicht erscheint. Die Polarlichter sind somit nach Wettstein elektrische Entladungen, elektrische Ströme, die von den oberen Schichten der Atmosphäre in einer Höhe ausgehen, in welcher die Luft dünn genug ist, um die gewöhnliche Funkenelektrizität in ähnlicher Art zu leiten, wie es die verdünnte Luft der Geissler'schen Röhren oder des elektrischen Eies thut.

Ein ähnlicher Vorgang findet nach Edlund's Anschauung statt. Seite 10 ist erwähnt worden, dass durch die unipolare Induction eine ununterbrochene elektrische Strömung positiver Elektrizität von der Erde in die höheren Luftschichten und hier vom Aequator gegen die Pole hin stattfindet.

Wir wollen nun diesen Strom in seinen Folgen begleiten und die Vereinigung der Luftelektrizität mit der entgegengesetzten der Erde in's Auge fassen.

Die Wiedervereinigung getrennter Elektrizitäten zwischen Luft und Erdoberfläche ist an die Wirkungen der Richtkraft des Erdmagnetismus geknüpft. Eine allseitig bewegliche Magnetnadel giebt diese Richtkraft an. Sie ist in den Aequatorialgegenden nahezu horizontal und in den Polargegenden beinahe vertical. In ersteren muss also die Richtkraft des Erdmagnetismus die elektrischen Entladungen, welche die Spannung zwischen Luft und Erdoberfläche stets in nahezu verticaler Richtung auszugleichen suchen, erschweren und daher zu gewaltsameren machen, in letzteren dagegen erleichtern und daher milder und stetiger gestalten. Das ist eine Folge der unipolaren Induction. Denn der Erdstrom kreist von Osten nach Westen, während die Erde mit der Atmosphäre von Westen nach Osten sich dreht. Der Strom in der Luft und der Magnetstrom der Erde haben somit entgegengesetzte Richtung, nach den Grundregeln der Elektrodynamik müssen sie einander abstossen. Die Erscheinungen dieser Abstossung sind complicirt wegen der Kugelgestalt der Erde und wegen der nicht genau ostwestlichen Richtung der Erdströme, da die Magnetpole ausserhalb der geographischen Pole liegen. Am Aequator fällt die Richtung der Abstossung zwischen dem Erd- und Luftstrom in den Radius der Erde, der Luftstrom wird daher nur nach aussen gestossen. An den Polen tritt ein ganz anderes Verhältniss ein. Die beiden Ströme sind auch hier concentrisch, die Abstossung ist aber nicht radial, sondern horizontal. Ausserdem ist wegen des sehr kleinen Rotationsradius die Geschwindigkeit und daher die Intensität der Abstossung so gering, dass die Wirkung überhaupt verschwindend klein wird. In den zwischen den Polen und dem Aequator liegenden Orten hat die Abstossung eine horizontale und verticale Componente.

Ueber dem Aequator, wo die Neigung zur abfliessenden Bewegung der positiven Elektrizität nach den Polen sehr gering ist, kann die Ansammlung positiver Elektrizität so stark werden, dass, obgleich die Wirkung der Erdrotation dem Rückflusse derselben nach der Oberfläche direkt entgegen-

wirkt, dennoch eine Wiedervereinigung mit der durch Abströmen und Influenz auf der Erdoberfläche vorherrschend negativen Elektricität eintritt.

Dies wird jedoch erst dann geschehen können, wenn der positiven Elektricität durch Bildung grosser Flächen condensirten Wasserdampfes in der Nähe der Erdoberfläche Gelegenheit gegeben ist, sich auf weiten Wolkenschichten stärker zu verdichten. Unter dieser Voraussetzung treten alsdann die periodischen Aequatorialgewitter ein. Die Ausgleichs erfolgen hier infolge der grossen Widerstände erst nach der Erreichung einer sehr hohen Spannung in der acuten Form der Funkenentladung.

Für diejenige positive Elektricität, welche hiebei nicht zur Neutralisirung gelangt, und überhaupt für diejenigen Elektricitätsmengen, welche zwischen dem Aequator und den Polarzonen aufsteigen und nach den Polen hin abfliessen, wird eine Ausgleichung durch unmittelbare Rückkehr nach der Erdoberfläche in Form der Funken- oder Blitzentladung nur dann entstehen, wenn ebenfalls durch Bildung grosser Wolkenflächen in der Höhe in Verbindung mit einem für die elektrische Leitung günstigen Zustande der unteren Luftschichten die Rückströmung hinreichend erleichtert ist.

Je günstiger jedoch alle Bedingungen der unmittelbaren Rückströmung sind, desto mehr entfernt sich auch die Form der Entladung von der augenblicklichen, keinem allgemeinen Richtungsgesetze gehorchenden Form der Funkenentladung und nähert sich dem Typus der andauernden Glühlichtentladung, wie sie in den Geissler'schen Röhren zur Anschauung kommt.

Da nun die Rückströmungen letzterer Form unter der Wirkung des Erdmagnetismus die Tendenz haben, sich in Richtungen zu vollziehen, welche an jedem Orte parallel zu der Inclinationsnadel sind, so ist es klar, dass in höheren Breiten, wo dieses Richtungsgesetz immer mehr die Ausgleichung in verticaler Richtung begünstigt, die Glühlichtentladungen, d. h. die Polarlichter, häufiger und die Funkenentladungen seltener werden, während in den Zwischenzonen gewisse, alternirende oder Mischformen dieser verschiedenen Entladungsarten zur Geltung kommen.

In einem gewissen Abstände von den Magnetpolen der Erde tritt ein Zustand ein, in welchem die Anziehung der negativen Elektricität der Erdoberfläche auf die in der Luft angesammelten und verdichteten Mengen positiver Elektricität jegliche Tendenz der Weiterbewegung nach den Polen hin überwiegt. Die Zone, in welcher ein mittlerer Zustand dieser Art entsteht und in welcher demnach die zahlreichsten und regelmässigsten Glühlichtentladungen nach der Erdoberfläche hin erfolgen, ist die sogenannte Maximalzone der Nordlichter.

Das Erglügen der Luft durch die elektrischen Rückströmungen aus den höheren Luftschichten nach der Erdoberfläche erfolgt nach Analogie der Geissler'schen Röhren in der Regel nur in den höheren, dünneren Luftschichten, während der Durchgang durch die unteren Schichten im allgemeinen lichtlos stattzufinden scheint. Eine Ausnahme hievon hat z. B. Lemström in Spitzbergen beobachtet; er sah dicht über Bergspitzen und Wolken die charakteristischen Glühlichtsäulen sich bilden und hat solche Vorgänge durch eine interessante experimentelle Entdeckung auch näher erläutert. Lemström machte nämlich die Beobachtung, dass in der Nähe einer arbeitenden Holz'schen Elektrisirmaschine Geissler'sche Röhren, deren Enden bloss mit kurzen Platindrähten versehen und in keinen geschlossenen Kreislauf eingeschaltet waren, in einem mehrere Meter betragenden Abstände von der Elektricitätsquelle noch in's Glühen gerathen sind, während die zwischen ihnen und der Elektricitätsquelle liegenden Luftschichten, durch welche die das Glühen hervorbringenden elektrischen Entladungen hindurch gehen mussten, keine Spuren von Glühlicht zeigten.

Reis nennt diese Theorie Edlund's eine allgemein anerkannte, und Förster hält dafür, dass dem Grundgedanken derselben die Zukunft angehören werde. An der Hand der Darstellung Edlund's wird es klar, dass Nordlichter am Aequator nie erscheinen, dass sie hingegen in der Nähe der Pole zu den alltäglichen Ereignissen gehören. Der Nordlichtgürtel und der Parallelismus der Strahlen zu der Inclinationsnadel sind nothwendige Folgen der günstigsten Vereinigung entgegengesetzter Elektricitäten. Der Einfluss des Polarlichtes auf die Magnetnadel kann keineswegs befremden, wenn man beachtet, wie die geringste Aenderung der Luftelektricität auf die Erdströme einwirkt.

M. Pokorny hat 1886 zu Ebensee ein sehr empfindliches Telephon mit der Erde gut leitend verbunden und damit in den Monaten Juli, August und September Beobachtungen angestellt. Bei heiterem Himmel verspürte er nicht das geringste Geräusch, die Erdströmung war $= 0$; die geringste Wolkenbildung war aber von elektrischen Inductionsströmen begleitet, bei Gewittern nahmen dieselben an Stärke zu und bei Entladungen der Elektrizität durch Blitz war das Geräusch am Telephon im ganzen Zimmer vernehmbar und für das Ohr in der Nähe des Instrumentes fast unerträglich.

In der grossen Spannung der entgegengesetzten Elektricitäten vor dem Ausbruch des Nordlichtes und in der Abnahme derselben während des Ausgleiches findet die Variation der Intensität des Erdmagnetismus ihre Erklärung.

Wie aus dem Conductor einer stark in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine die Elektrizität, wenn sie nicht durch Leiter entzogen wird, unter zischendem oder knisterndem Geräusch in die Luft entweicht, so liegt endlich in dem raschen Ausströmen der Erdelektrizität die Möglichkeit, das knisternde Geräusch des Nordlichtes hervorzubringen.

In neuester Zeit kam Andries¹⁾ bei der Erklärung des Nordlichtes mit Edlund's Anschauung völlig überein, obschon beide die Luftelektrizität von ganz verschiedenem Ursprunge herleiten. Nach Andries ist die Erde in Bezug auf ihre elektrische Beschaffenheit als aus zwei concentrisch um den Erdmittelpunkt gelegte Kugelschalen zu denken, die mit freier Elektrizität geladen sind, eine positive an der Grenze der Atmosphäre, eine negative innerhalb der Erdrinde.

Das Nordlicht ist nun nichts anderes als ein Ausgleichungsprocess dieser beiden entgegengesetzten Elektricitäten, der jedesmal eintritt, wenn durch besonders günstige Umstände die elektrische Spannung an der Grenze der Luft einen hohen Grad erreicht hat. Bei diesen Strömungen aus der Höhe in die Tiefe, die wegen des Widerstandes der isolirenden Schicht der unteren Atmosphäre nur langsam erfolgen, treten in den höheren Regionen leuchtende Strahlen auf; in den tieferen Schichten sind die Strömungen nicht stark genug, um ein Leuchten zu erzeugen. Diese leuchtenden Ströme sind die Nordlichtstrahlen, welche sich unter dem Einfluss des Erdmagnetismus parallel zur Richtung der Inclinationsnadel stellen. In der Höhe, wo ihre Intensität wegen des geringeren Widerstandes grösser ist, nähern sie sich einander, weil gleichgerichtete Ströme sich anziehen. Dadurch erklärt sich die eigenthümliche Anordnung der Nordlichtstrahlen.

Wird der Luftwiderstand aus irgend einem Grunde an einer Stelle vermindert, so ist dort die Strömung erleichtert, und es können sich locale Nordlichterscheinungen entwickeln.

Die oft plötzlich eintretende Wolkenbildung und die ebenso schnelle Aufklärung des Himmels während des Nordlichtes sind die Folgen des wärmebindenden Processes der elektrisch beschleunigten Verdampfung und des wärmeerzeugenden Processes der durch Abkühlung wieder gesteigerten Condensation von Wasserdämpfen.

Da von der grössten Beleuchtungsstelle aus auch in der Richtung nach Nord und Süd elektrische Strömungen bestehen, wie Seite 11 erwähnt wurde, so muss an dem nördlichsten und südlichsten Punkte der Beleuchtungsgrenze (in Bezug auf die Ekliptik) eine Art Concentration der Ströme stattfinden, welche eben das Nordlicht ermöglicht; wir begegnen da der Zone der grössten Nordlichthäufigkeit, dem sogenannten Nordlichtgürtel.

Infolge der jährlichen Verschiebung der Beleuchtungsgrenze erleidet auch diese Zone eine jährliche Verschiebung, indem sie zur Zeit der Aequinoctien die südlichste Lage einnimmt, während des Wintersolstitiums dagegen die nördlichste. Daraus erklärt sich die doppelte Periode der Nordlichthäufigkeit im Laufe eines Jahres in den mittleren Breiten zur Zeit der Aequinoctien und die einfache Periode in den höchsten Breiten im Winter.

Der Nordlichtgürtel erleidet ferner auch eine tägliche Verschiebung in der Weise, dass er sich in der Nacht nach Nord bewegt. Durch das ununterbrochene Strömen der Elektrizität nach

¹⁾ Naturforscher, Jahrg. XXI. 15. April 1888.

der nördlichen und südlichen Beleuchtungsgrenze und über dieselbe hinaus während des Tages muss dort am Abend die elektrische Spannung ein Maximum erreichen. Folglich tritt die günstigste Zeit zum Ausgleichungsprocess, d. i. zur Entwicklung des Polarlichtes, bald nach Sonnenuntergang, überhaupt in den Abendstunden ein. In den späteren Nachtstunden hört die Erscheinung fast ganz auf, um gegen Morgen bei Annäherung der östlichen Beleuchtung wieder an Intensität zuzunehmen.

Was endlich die $11\frac{1}{9}$ und die 55,6jährigen Perioden betrifft, so müssen dieselben auf die zu verschiedenen Zeiten ungleiche Intensität der Sonnenstrahlen zurückzuführen sein. Denn wenn in der Sonne, die H. Fritz zu den veränderlichen Sternen zählt, periodische oder doch zeitweise Aenderungen in den Strahlungsverhältnissen eintreten, so muss davon das ganze Sonnensystem beeinflusst werden.

Man sieht aus dem Angeführten, dass die Beobachter des Nordlichtes, welche Elektrizitätsquelle sie immer angenommen haben, in Bezug auf Ursprung, Entwicklung und Verlauf des Phänomens einander weit näher gekommen sind, als die Forscher der Luft- und Gewitterelektricität.

* * *

Fasst man zum Schlusse die Gesamtheit der voranstehenden Theorien über die Lufterlektricität und die elektrischen Meteore in's Auge, so findet man in denselben die verschiedensten Ansichten und Voraussetzungen niedergelegt. Alle Forscher mussten jedoch die hypothetische Methode befolgen, weil die Entstehung der atmosphärischen Elektricität im Grossen durch eine bestimmte Ursache noch nicht direct nachgewiesen werden konnte und wahrscheinlich kaum jemals nachgewiesen werden dürfte, so lange das Wesen der Elektricität unbekannt ist. Wenn man aber heute, wie Prof. Clausius sich ausspricht, „mit gutem Grunde annehmen kann, dass der im ganzen Weltraum und selbst im Innern aller Körper vorhandene Stoff, welchen man bisher Aether nannte, nichts anderes ist, als Elektricität“, so ist zu erwarten, dass eine Modification oder Weiterentwicklung derjenigen Theorien, welche die Bewegung, respective die Verdünnung und Verdichtung des Aethers als Basis der atmosphärischen Elektricität und der damit zusammenhängenden Erscheinungen annahmen, zu definitiven Resultaten führen werden; und wenn, gleichfalls nach Clausius, „die Fortpflanzung der strahlenden Wärme und des Lichtes aus elektrischen Kräften erklärt werden soll“, so sind nicht bloss die periodischen Veränderungen der Elektricität in der Atmosphäre als Wirkungen der Sonnenstrahlen zu betrachten, sondern es muss überhaupt zwischen tellurischen und kosmischen Erscheinungen ein inniger Zusammenhang bestehen. Bereits hat Tromholt gefunden, dass Sonnenhöfe und Nebensonnen am häufigsten zur Zeit der Sonnenfleckmaxima und der Nordlichter auftreten. Nach Klein geht die Häufigkeit der Cirruswolken derjenigen der Sonnenflecken parallel. Der Barometerstand erreicht nach Hornstein gleichzeitig mit den Sonnenflecken und dem Polarlichte sein Maximum und Minimum; dessgleichen steht auch die Schwankung des Luftdruckes mit dem Verlaufe der Polarlichter im Zusammenhange. Hahn und Fritz haben eine 55jährige Periode der Hagelfälle nachgewiesen. Moffat findet die Zu- und Abnahme des Ozongehaltes der Luft von dem Maximum und Minimum der Sonnenflecken abhängig. Der Parallelismus zwischen Fleckenhäufigkeit und der Zahl der Cyklonen in den tropischen Meeren wurde von Meldrum nachgewiesen. Endlich steht nach Andries auch das Zodiakallicht in ursächlichem Zusammenhang mit der elektrischen Kraft der Sonnenstrahlen. Wie die genannten Phänomene mehr oder weniger direct und indirect von der Intensität der Sonnenstrahlen und von der durch diese bedingten Elektricitätsentwicklung in der Atmosphäre und im Erdboden abhängen und auf eine einzige allgemeine Ursache hinweisen, so bezeugen die Erscheinungen in der Natur im Allgemeinen die durchgreifende Einheit des schöpferischen Willens oder, um mit Alex. v. Humboldt zu sprechen: „Alle Verkettung der irdischen und der himmlischen Erscheinungen weisen hin auf das Zusammenwirken eines einigen Willens in dem System treibender Kräfte.“

U. I. O. G. D.

